Série N° d'ordre 241

THÈSES

présentées

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX

pour obtenir le titre

de

DOCTEUR ÈS-SCIENCES NATURELLES

par

Bazou O. GIBIRILA

Licencié ès-Sciences
Docteur en Pharmacie (diplôme d'État)
Diplômé d'Études Spéciales de Sérologie
Titulaire du Certificat d'Études Supérieures de Contrôle Physico-Chimique de Médicaments
Titulaire du Certificat d'Études Supérieures de Pharmacodynamie et d'essais Biologiques
Lauréat de la Faculté Mixte de Médecine et de Pharmacie de Bordeaux

1re THÈSE

COMPOSITIONS PROTEIQUES DES MAÏS AFRICAINS

2e THÈSE

Proposition donnée par la Faculté

Soutenues le 31 Janvier 1969 devant la Commission d'Examen

MM. SECHET ..... *Président*
BARAUD .....
GENEVOIS ..... *Examinateurs*
PORTERES, *Professeur au Muséum* .....

BORDEAUX
IMPRIMERIE Ch. GAUDY & FILS
83, cours de l'Argonne

1969

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543912_0006

Série N° d'ordre 241

THÈSES

présentées

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX

pour obtenir le titre

de

DOCTEUR ÈS-SCIENCES NATURELLES

par

Bazou O. GIBIRILA

Licencié ès-Sciences
Docteur en Pharmacie (diplôme d'État)
Diplômé d'Études Spéciales de Sérologie
Titulaire du Certificat d'Études Supérieures de Contrôle Physico-Chimique de Médicaments
Titulaire du Certificat d'Études Supérieures de Pharmacodynamie et d'essais Biologiques
Lauréat de la Faculté Mixte de Médecine et de Pharmacie de Bordeaux

1re THÈSE

COMPOSITIONS PROTEIQUES DES MAÏS AFRICAINS

2e THÈSE

Proposition donnée par la Faculté

Soutenues le 31 Janvier 1969 devant la Commission d'Examen

MM. SECHET ..... *Président*
BARAUD ..... } *Examinateurs*
GENEVOIS ..... }
PORTERES, *Professeur au Muséum* ..... }

BORDEAUX
IMPRIMERIE Ch. GAUDY & FILS
83, cours de l'Argonne

1969

UNIVERSITÉ
DE BORDEAUX

FACULTE DES SCIENCES

DOYEN HONORAIRE : M. BRUS

DOYEN : M. CALAS

PROFESSEURS HONORAIRES :

M. KASTLER ..... *Professeur à la Sorbonne*
M. PISOT ..... *Professeur à la Sorbonne*
M^lle^ JOSIEN ..... *Professeur à la Sorbonne*
M. MILLOUX
M. DANGEARD
M. CAU
M. GENEVOIS

PROFESSEURS

M. BRUS ..... *Chimie.*
M. AVEL ..... *Zoologie et physiologie animale.*
M. ROUSSET ..... *Physique générale.*
M. ROGER ..... *Mécanique rationnelle.*
M. WEILL ..... *Anatomie comparée et embryogénie.*
M. DUFRESNOY ..... *Mathématiques générales.*
M. LAFON ..... *Physiologie générale.*
M. BOUNHIOL ..... *Biologie animale.*
M. SERVANT ..... *Physique.*
M. CALAS ..... *Chimie organique.*
M. GAY ..... *Cristallographie et minéralogie.*
M. PACAULT ..... *Chimie physique.*
M. SCHOELLER ..... *Géologie.*
M. DAVID ..... *Physiologie végétale.*
M. COLMEZ ..... *Méthodes mathématiques de la physique.*
M. CAMBAR ..... *Biologie animale.*
M. VIGNEAUX ..... *Géologie.*
M. PANOUSE ..... *Zoologie (détaché à la Faculté des Sciences du Maroc).*
M. ARZELIES ..... *Physique (détaché à la Faculté des Sciences du Maroc).*
M. RIBÉREAU-GAYON . *Œnologie et chimie agricole.*
M. RISS ..... *Mathématiques.*
M. GUIZONNIER ..... *Physique.*
M. HAGET ..... *Zoologie expérimentale.*
M. SEMIROT ..... *Astronomie.*
M. CHASTEL ..... *Physique nucléaire.*
M. HAGENMULLER .... *Chimie minérale.*
M. CREAC'H ..... *Biologie animale.*
M. LOUDETTE ..... *Mécanique physique.*
M. PATY ..... *Chimie.*
M. BORDES ..... *Préhistoire.*
M. SÉCHET ..... *Botanique.*
M. BAGANAS ..... *Mathématiques.*
M. VALENTIN ..... *Radioélectricité.*
M. ENNOUCHI ..... *Géologie.*
M. EYME ..... *Botanique.*
M. RUAMPS ..... *Physique électronique.*
M. FRAINNET ..... *Chimie organique.*
M. HOARAU ..... *Chimie physique.*
M. MARCHAND ..... *Chimie.*
M. LALANDE ..... *Chimie appliquée.*
M. GOTTIS ..... *Géologie dynamique.*
M. LEMANCEAU ..... *Chimie.*
M. CARDO ..... *Psychophysiologie.*
M. ROCH ..... *Physique.*
M. BELLON ..... *Chimie (détaché à la Faculté des Sciences du Maroc).*
M. CLASTRE ..... *Cristallographie physique.*
M. JOUSSOT-DUBIEN .. *Chimie.*
M. VALADE ..... *Chimie organique.*
M. SURDIN ..... *Automatique.*
M. LABOUESSE ..... *Biochimie.*
M. BLONDEL ..... *Mathématiques.*
M. SOURISSEAU .. ... *Chimie*
M^lle^ FAURE-MURET .. *Géologie (détachée à la Faculté des Sciences du Maroc).*
M. CLIN ..... *Géologie.*
M. LOCHET ..... *Physique.*
M. VINDT ..... *Biologie végétale.*
M. RÉGNIER ..... *Mathématiques.*
M^lle^ LAFFITTE ..... *Physique.*
M. DESTRIAU ..... *Chimie.*
M. PETIT ..... *Physique corpusculaire.*
M. BARAUD ..... *Chimie biologique.*
M. EMBERGER ..... *Géologie.*
M. BOTHOREL ..... *Chimie.*
M. CHARRU ..... *Physique.*
M. SIMONOFF ..... *Chimie physique.*
M. LASCOMBE ..... *Chimie.*
M. RIMPAULT ..... *Physique théorique.*
M. BARETS ..... *Biologie animale.*
M. PINEAU ..... *Chimie.*
M. LÉVÊQUE ..... *Géologie approfondie.*
M. BOUSSEAU ..... *Physique.*
M. MENNRATH ..... *Physique.*
M. ANDRÉ ..... *Biologie générale.*
M. BOUAS-LAURENT .. *Chimie organique.*
M. MARTINET ..... *Calcul infinitésimal.*
M. N. ..... *Informatique.*

MAITRE DE CONFERENCE HONORAIRE :
M. de PUYMALY.

MAITRES DE CONFERENCES

M. RIBÉREAU-GAYON (Pascal) . *Chimie-œnologie.*
M^lle^ DUTRIEU ..... *Physiologie animale.*
M. RAULT ..... *Chimie minérale.*
M^me^ PETIT ..... *Physique.*
M. BERNET ..... *Génétique.*
M. FRESNEL ..... *Mathématiques.*
M. MOYES ..... *Géologie.*
M. LUTZ ..... *Botanique.*
M. MOULINES ..... *Chimie.*
M. MENDÈS-FRANCE .. *Mathématiques.*
M. POUCHARD ..... *Chimie minérale.*
M. SARDOS ..... *Physique.*
M. DUMERY ..... *Mécanique.*
M. GARNIER ..... *Biophysique.*
M. LESCA ..... *Mathématiques.*
M. ARTOLA ..... *Mathématiques.*
M. DRESS ..... *Mathématiques.*
M. BOUARD ..... *Biologie végétale.*
M. DE MAHTAN ..... *Mathématiques.*
M. N. ..... *Physique théorique.*
M. N. ..... *Physique théorique.*

CONSEILLER ADMINISTRATIF :
M. LLORENS.

UNIV. LEIDEN BIBL.

COMPOSITIONS PROTEIQUES DES MAÏS AFRICAINS

A MON MAITRE

Monsieur Louis GENEVOIS

PROFESSEUR HONORAIRE

FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX

AVANT-PROPOS

Ce patient travail d'analyste est le second que j'ai entrepris dans le domaine de la recherche scientifique, le premier ayant été consacré à l'« action du chlorure de p.Toluènesulfonyle sur quelques dérivés fonctionnels organiques », ou « tosylation pyridinée », que j'ai mise au point, en 1963, au Laboratoire de Chimie de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Bordeaux, sous la direction de M. le Professeur Pierre MESNARD.

Celui qui est ici présenté est d'un autre genre, puisant sa source dans la Biochimie nutritionnelle et s'inscrivant tout naturellement parmi les travaux réalisés dans le monde pour la lutte contre la faim. Il a été effectué en partie au « Laboratoire de Recherche du Pharo », à Marseille, sous la direction du Pharmacien-Colonel BUSSON, et en partie au « Laboratoire de Chimie Biologique de la Faculté des Sciences de Bordeaux », à Talence, sous la direction de M. le Professeur Louis GENEVOIS.

Je le dédie à l'Afrique, en particulier au Dahomey dont je suis fils essentiel. Je le dédie également à la France dont je suis fils spirituel, pour employer l'expression de M. le Professeur GAILLET, vice-président de l'Académie Montesquieu de Bordeaux, que je remercie. Il m'appliqua, le premier, ce qualificatif dans la préface qu'il rédigea pour ma plaquette de poésie « Rencontres et Passions », qui parut en 1961.

Je dédie ce travail à feu mon père Shébotimon Osséni GIBIRILA, Sériki de Cotonou, et à feu ma mère Houmou-Lihéry BAKARY, qui reposent tous deux désormais au

cœur de la terre dahoméenne, à feu mon fils qui gît en pays tchadien, au cimetière de Fort-Lamy.

Je le dédie à mon Epouse, à mes Enfants, mes deux garçons et mes trois filles.

Que mes amis soient rassurés, ils ne sont pas oubliés ; je veux parler de mes amis d'enfance que je n'ai pas revus pour la plupart depuis plus de vingt ans, de mes amis scientifiques et littéraires, de mes amis sportifs et tennistiques.

Ce travail, je le dédie à mes Maîtres d'école, petits ou grands, dahoméens ou français, à mes Professeurs de l'ancienne Ecole Africaine de Médecine et de Pharmacie de Dakar, à mes Professeurs des Facultés de Bordeaux, au nombre desquels je suis heureux de citer le Professeur Louis Genevois, le Président du jury : le Professeur Séchet, les Membres examinateurs : outre le Professeur L. Genevois, le Professeur Baraud, le Professeur Portères (Museum National d'Histoire Naturelle, Paris). Ils ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui ; ils m'ont engagé comme un pionnier dans la voie de l'investigation, de la connaissance, de la probité intellectuelle, de la vérité et de l'idéal humain. Mais ils n'ont pas omis de m'inculquer ce que doit être l'objectif du scientifique, de l'analyste, à savoir : la recherche de la rigueur des faits.

Je le dédie aux Organismes mondialistes ou régionalistes qu'il faut encourager dans leur œuvre de lutte contre la dénutrition protéique des plus déshérités de l'humanité, de ceux-là qui sont malades ou meurent d'avoir trop faim, ou d'avoir trop mangé n'importe quoi, n'importe quand et n'importe comment.

Puisse ce travail être l'une des données des solutions qu'ils recherchent.

B. O. G.

INTRODUCTION

Le présent travail est une suite et un développement du remarquable mémoire du Pharmacien-Colonel F. Busson [36] : « Etude chimique et biologique des végétaux alimentaires de l'Afrique Noire de l'Ouest dans leurs rapports avec le milieu géographique et humain », paru en 1965. Ce monumental ouvrage décrit près de 150 espèces de plantes alimentaires africaines, avec description précise des caractères botaniques et des propriétés biochimiques en y comprenant la composition détaillée en aminoacides des protides.

Le Maïs est représenté par une seule variété, une seule analyse. Dès 1907, Louis Blaringhem [24] montrait que le Maïs, plante biologiquement étrange, donne très facilement naissance à des mutations très importantes. En 1914, La Fayette B. Mendel [149-150], analysant les Maïs cultivés par les éleveurs de porcs de la région de Chicago, met en évidence la pauvreté en lysine et en tryptophane des protides de ces Maïs. Les analyses de L. B. Mendel [149-150] donnèrent pendant plus de cinquante ans au Maïs la très fâcheuse réputation d'une plante « carencée », de très médiocre valeur nutritionnelle. Depuis 1939, L. Genevois [81-82, 83-84], élève de L. Blaringhem [24], défend l'idée de l'hétérogénéité biochimique des plantes cultivées ; la sélection fut faite en Europe pendant des siècles sur des critères de rendement, de robustesse, non sur des critères de valeur nutritionnelle.

L. Genevois [81-82, 83-84] pense donc que la sélection de nos plantes cultivées est à reprendre sur des bases

biochimiques. La technique consiste à étudier un grand nombre de variétés, botaniquement, géographiquement bien distinctes, de manière à augmenter les chances de trouver des mutations intéressantes.

En 1965, Mertz [129] et son Equipe de chercheurs de la Purdue University, aux Etats-Unis, annonça avoir découvert un gène, « Opaque-2 », qui, introduit dans les Maïs communs, change la proportion des protéines et porte de 2 à 4,7 p. 100 le taux de lysine des protides du grain. Des études nutritionnelles, faites sur le Rat (1965), puis sur l'Homme (1966), montrèrent que ces nouveaux Maïs, donnés comme seule source de protides, permettent une croissance convenable du Rat, et permettent de maintenir l'Homme en équilibre azoté [179]. Cette découverte transformait le Maïs en une céréale de bonne valeur biologique.

Il était raisonnable de penser que le gène « Opaque-2 » pouvait se rencontrer ailleurs qu'aux Etats-Unis. Une collection de Maïs faite sur les bords du Niger par M. Le Conte [118], et obligeamment remise au laboratoire de biochimie de Bordeaux, montrait des types bien différents des types européens : grains plus petits, plus arrondis, germe (riche en protéines de qualité) plus gros. Cette collection donna au Professeur Genevois [81] l'idée d'un inventaire biochimique des Maïs africains. Il connaissait l'importance du Maïs au Dahomey, il me confia cette étude.

Nous avons reçu une collection de Maïs du Maroc, réunie par M. Bryssine 35], ainsi que des hybrides réalisés par ce chercheur. Nous avons reçu des Maïs de Haute-Volta expédiés par M. Dunoguier ; nous avons reçu des Maïs du Dahomey envoyés par les services d'agriculture de ce pays. Nous remercions ici l'I.R.A.T., MM. Le Conte, Bryssine, Dunoguier et les services d'agriculture

du Dahomey, de leur aide précieuse. Le Pharmacien-Colonel Busson nous a initié dans son laboratoire aux techniques expérimentales (hydrolyse, analyse chromatographique sur colonne d'aminoacides) ; sans lui, nous n'aurions pu mener à bien ce travail. Il nous est, d'autre part, agréable d'ajouter qu'il y a plus de vingt ans que nous le connaissons pour avoir été notre chef de corps pendant notre service militaire à la Pharmacie d'approvisionnement des Troupes à Dakar, en 1946. Nous lui en sommes infiniment reconnaissant, et nous adressons aussi nos remerciements à ses collaborateurs, M. Santini, pharmacien, MM. Pelligrini et Paulo.

Comme moyens d'investigation, nous avons utilisé :

1° la méthode de Turba & Kofranyi [180], légèrement modifiée, que nous avons adaptée au dosage de la lysine dans les milieux aussi complexes et aussi dilués que les hydrolysats de Maïs ;

2° la méthode chromatographique autoanalytique,

— à Marseille, au Laboratoire de Recherche du Pharo, sous la direction du Pharmacien-Colonel Busson, docteur ès sciences,

— à Bordeaux, au Laboratoire de Chimie Biologique de la Faculté des Sciences, à Talence, sous la direction du Professeur Genevois.

Nous prions M. le Professeur Genevois de bien vouloir accepter l'hommage de notre gratitude et de notre sincère attachement.

Que MM. les Professeurs Séchet, Baraud (Faculté des Sciences, Bordeaux-Talence), Portères (Muséum d'Histoire Naturelle, Paris), qui ont accepté de juger ce travail, trouvent ici le témoignage de notre profonde reconnaissance.

Nous remercions M. Larrouquère de nous avoir permis de travailler à ses côtés ; nous remercions également de sa compréhension le personnel du laboratoire de chimie biologique de la Faculté des Sciences, à Talence, au nombre duquel nous citons M. Claude Boisse, M^me^ Paule Carreau, qui n'ont ménagé ni leur temps, ni leur bonne volonté pour la reproduction de nombreuses photocopies de mémoires originaux, à notre intention.

On sait aujourd'hui que le moindre apport scientifique ne peut être réalisé sans un plan d'étude judicieusement conçu. C'est pourquoi, conscient de la portée que doit avoir toute contribution dans le vaste domaine de la sélection végétale à laquelle le Profesesur Genevois nous a généreusement initié, nous avons élaboré un plan de travail aussi précis que possible, comprenant différentes divisions, à savoir :

Première partie : Généralités sur le Maïs ;

Deuxième partie : Importance du Maïs, Malnutrition, Kwashiorkor, La faim dans le monde ;

Troisième partie : Solutions aux problèmes de la faim, Travaux antérieurs sur le Maïs ;

Quatrième partie : Travaux personnels comportant les points suivants :

Opérations préliminaires ayant trait :

- au comptage des grains,
- à la détermination des taux d'humidité,
- à la pulvérisation des matériaux d'étude ;

Opérations fondamentales ayant trait :

- au dosage d'azote total,
- à la préparation des hydrolysats de Maïs en vue

du dosage de la lysine et autres aminoacides, le principe de ce dosage étant au préalable explicité par quelques considérations théoriques sur le comportement des acides aminés en solution hydrochlorhydrique,

- au dosage de la lysine par la méthode de Turba & Kofranyi [180] modifiée,
- au fractionnement chromatographique des protéines en aminoacides dans les hydrolysats de Maïs par la technique autoanalytique de Moore & Stein [136 ,
- aux résultats et interprétations relatifs à la composition protéique des Maïs africains,
- à quelques expérimentations personnelles en vue de la conservation des grains de Maïs et autres, en Afrique : conditionnements proposés ;

Cinquième partie : conclusions.

Les conclusions tirées de l'étude de 80 variétés de Maïs très diverses ont confirmé nos hypothèses de départ : il a été possible de trouver, tant parmi les hybrides de M. Bryssine que parmi certains hybrides dahoméens, des souches où le taux de lysine des protides atteint et dépasse 4 p. 100. La richesse en lysine des hybrides américains de Mertz se retrouve donc dans certains Maïs africains. L'amélioration des Maïs africains consistera à conserver et à propager ces souches, déjà adaptées au climat et au sol ; ce travail est de la compétence des agronomes.

Première partie

GÉNÉRALITÉS SUR LE MAÏS

CHAPITRE PREMIER

CARACTERES ETHNOBOTANIQUES RACES — HYBRIDES

I. — CARACTERES ETHNOBOTANIQUES

Dans notre travail, nous avons plus souvent parlé du Maïs-grain que du Maïs-plante, car c'est de l'étude du Maïs en tant que céréale qu'il s'agit. Il n'est pourtant pas superflu de préciser que le Maïs est une herbe annuelle d'environ six pieds de haut, à feuilles linéaires, lancéolées, portant des inflorescences unisexuées sur la même plante. Il appartient à la famille des Graminae, à la tribu des Maydeae et à l'espèce Zea, d'où son nom botanique de Zea Mays. Son identité chromosomique, d'après Jacques-Félix [100], est définie par

$$2\ n = 10...$$

Le Maïs comporte des épis de 10 cm à 24 cm, et parfois plus, chez les variétés actuellement cultivées, tandis que les variétés préhistoriques dépassent rarement 3 cm. Nous devons admettre que la plante a considérablement évolué à travers les âges par suite de mutations multiples.

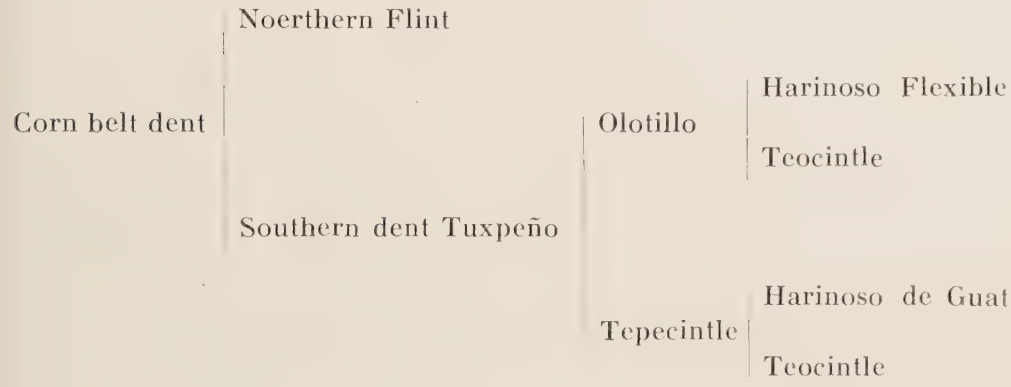
Il n'est pas aisé de rencontrer de nos jours des races de Maïs de lignée pure, l'hybridation étant un phénomène naturel auquel cette plante n'échappe pas. Tous les cultivateurs ou agriculteurs recherchent le Maïs hybride pour sa résistance aux insectes, pour sa résistance à la verse et pour son rendement de 30 à 40 % plus élevé que celui de la variété à pollinisation libre.

Le Maïs pousse dans de nombreuses régions du monde. L'Amérique Centrale, l'Afrique Noire, certaines contrées des U.S.A., l'utilisent dans l'alimentation, contrairement à l'Europe qui le considère encore comme un aliment de choix pour le cheptel.

II. — RACES

La variété dentée comporte une dépression au sommet du grain. Celui-ci contient un amidon de consistance molle. C'est le Maïs américain par excellence. La variété vitreuse est la plus anciennement connue. C'est le Maïs qui pousse le mieux en Europe. Il aurait été rapporté en Espagne par Christophe Colomb, au XV^e^ siècle, de retour de son premier voyage dans le Nouveau-Monde. Le Maïs sucré, d'aspect translucide, est cultivé également aux Etats-Unis. La variété tendre ou farineuse paraît être le type le plus archéologiquement ancien, ayant été retrouvée dans les tombeaux des Aztèques et des Incas. Le Maïs perlé contient peu d'amidon, il est dit « Maïs à griller ». La variété cireuse ou visqueuse est originaire de la Chine. Elle est très riche en amylopectine. La variété vêtue est caractérisée par sa rareté, c'est un type de Maïs curieux parce que chacune de ses graines se trouve enfermée dans une gaine close à maturité, tandis que l'épi reste enveloppé comme dans tout autre variété de Maïs connue.

Jugenheimer [107] a donné dans son ouvrage sur la sélection des Maïs hybrides d'intéressants détails. D'autre part, nous avons jugé bon de rapporter ci-après un cycle généalogique du Maïs dû aux travaux de Wellhausen, Roberts & Hernandez [184], effectués en collaboration avec Mangelsdorf [122].



L'importance de ce cycle réside dans le fait qu'il semble apporter la preuve que la variété originelle du Maïs américain paraît être une variété dentée ou « Corn dent » qui aurait été retrouvée à l'état vêtu.

Par ailleurs, les auteurs ont publié des monographies des Maïs du continent américain qu'ils font dériver pour la plupart des variétés mexicaines dont voici les principales :

- Palomero toluqueño, à caryopses étroits, blanc-cendré, d'aspect semblable aux grains de riz ;

Arrocillo amarillo, à grains étroits et vitreux ;

Chapalotte, à petits grains ;

Nal-Tel, à caryopses non dentés.

Les races précolombiennes ont été décrites, de même que quelques races pauvres :

1° Races précolombiennes.

— Cacahuacintle, à grains moyens, farineux. Non contaminé par le Téosinte ou Euchlaena. Appelé « Salpor » au Guatemala ;

— Harinoso de Ocho, à grains plats, larges, tendres, représentant une des variétés importantes du cycle précédent ;

— Olotón, à caryopses larges et courts, blancs ou jaunes ;

— Maïz dulce, à caryopses plats, larges, carrés, rouges ou non colorés ;

— Conico, à petits grains, pointus, dentés ;

— Reventador, à épis longs en forme de cigare comme la « Chapalotte », à petits grains farineux ;

— Tobloncillo, à grains plats, larges, blanc-cendré, farineux ;

— Tehua, à grains moyens, semi-dentés ;

- Quicheño, à caryopses larges, épais. Sous-race : « Ramoso », à laquelle il y a lieu de rapprocher la variété « Ramosa », découverte en France et semblable à « l'ancêtre hypothétique de Reeves » (Messian, 1963) ;

- Tepecintle, à grains fortement dentés, un des représentants du cycle précédemment rapporté ;

— Comiteco, à grains longs et larges, épais, dentés ;

— Zapalote Chico, qu'il ne faut pas confondre avec la variété « Chapalotte ». Très apprécié des éleveurs de coqs de combat qui nourrissent de ses grains rouges leurs volatiles auxquels ils attachent autant de prix que les propriétaires de chevaux de course à leurs bêtes ;

— Pepitilla, à grains très étroits et minces ;

— Olotillo, à caryopses fortement dentés, un des représentants du cycle généalogique du Maïs, à rapprocher de la variété « Canilla » de Cuba et la variété « Maïz Chandelle » des Indes Occidentales [34] ;

— Vendeño, à grains moyens, dentés ;

— Chalqueño, à caryopses étroits, pointus et dentés ;

— Celaya, à grains plats et larges, dentés. Constitue la « Corn belt de Mexico » ;

— Conico Norteño, à grains étroits, longs, dentés ;

— Bolita, à caryopses courts, assez larges et épais ;

Argentino, variété très populaire en Argentine et à Cuba. Grande importance économique.

2° **Races pauvres.**

— Conejo, variété poussant très vite, atteignant sa maturité au bout de trois mois, d'où son nom populaire de « Très Mesino » ;

— Complejo Serrano de Jalisco, à petits grains ;

— Zamorano amarillo, très productif ;

— Maïs blando de Sonora, farineux, variété des Caño del Muerto ;

— Onaveño, à grains dentés et sucrés ;

— Durcillo del Noroeste, à grains tendres et doux.

Voilà, sommairement présentées, les grandes races maïsicoles du continent américain. Comme le montre le cycle généalogique précédent, les variétés paraissant avoir joué un rôle primordial dans l'évolution du Maïs sont : Tuxpeño, Olotillo, Tepecintle, Harinoso de Ocho, Harinoso Flexible, Harinoso de Guat, Teocintle. Cependant, un doute persiste encore quant à l'interprétation parfaite du cycle évolutif.

On s'aperçoit, à quelques exceptions près, que ce sont les mêmes races qui se cultivent à Cuba, au Guatemala, au Mexique, aux Etats-Unis... Les généticiens n'ont pas tort de définir une race comme un groupe d'une ou de plusieurs populations d'individus hybrides liés par des caractères communs. Cela est vrai pour l'homme, l'animal et le végétal, c'est aussi vrai pour le Maïs.

III. — LA VARIETE « OPAQUE-2 » ET LES MAIS HYBRIDES

La variété « Opaque-2 » a été découverte en 1935 et décrite par Emerson, Beadle & Frazer, dans « Cornell University Agricultural Experiment Station Memoir 180 » [72].

Ce n'est qu'en 1964 que Mertz, Bates & Nelson [128] reconnurent que les protéines de cette variété contiennent 3,7 p. 100 de lysine. En 1966, Baudet, Mosse, Landry & Moureaux [138] ont montré que la variété « Opaque-2 »

à 3,7 p. 100 de lysine et 9,2 p. 100 de leucine, contenait 17,9 p. 100 de zéine, alors qu'un Maïs I.N.R.A. 260, à 2,4 p. 100 de lysine, 14,2 p. 100 de leucine, contenait 49,2 p. 100 de zéine.

Au Dahomey, dans le cadre du Service de l'Agriculture, l'I.R.A.T. a mis au point une variété dite « SCAr III », grâce à un croisement entre un gène martiniquais et un Maïs local. Or, notre étude biochimique nous a permis de lui attribuer une concentration en lysine de 3,9 p. 100.

Il existe aujourd'hui au Maroc des Maïs hybrides fort intéressants. Les échantillons adressés gracieusement par M. Bryssine à M. le Professeur Louis Genevois nous ont permis d'analyser une trentaine de ces variétés. Notre travail nous a révélé toute l'importance qu'il convient de leur conférer, car un grand nombre d'entre elles présentent des teneurs en lysine de l'ordre de 4 p. 100, et plus.

Les critères biochimiques apportés par Mertz et ses Coll. [128-129], Mosse et son Equipe [138-139] et par nous-même, donnent désormais raison, d'une part à Louis Blaringhem [24] qui, dès 1907, montrait dans sa thèse « Mutations et traumatismes », que le Maïs donne lieu à des mutations importantes, et d'autre part, à Louis Genevois [81-82, 83-84], élève de Louis Blaringhem, qui soutient, depuis 1939, l'idée de l'hétérogénéité biochimique des plantes cultivées. Nous y avons d'ailleurs déjà fait allusion dans notre introduction. Par les résultats analytiques obtenus sur un grand nombre d'échantillons de Maïs, nous avons vérifié ce phénomène et apporté la preuve de son authenticité.

De leur côté, les agriculteurs, agronomes et généticiens ont pensé à la supériorité de l'hybridation variétale sur la sélection massale qui consiste à choisir, par exemple

dans le cas du Maïs, les plus vigoureux épis et à les semer ensuite. L'hybridation, par contre, tend à créer génétiquement une nouvelle variété par l'intromission d'un gène étranger jugé intéressant. Il peut être soit gamétique : Stadler [174], Hayes, Rinke & Tsiang 95], Pinnell, Rinke & Hayes [154], soit récurrent : Jenkins [103], Hull [98].

Mais le mérite de l'application du croisement double revient à Jones [106] qui le suggéra pour la première fois en 1917 en insistant sur les facteurs de dominance dans l'hybridation.

Sprague [173], d'une part, Tavcar [173], de l'autre, ont publié, en 1959, dans le « Handbuch der Pflanzenzüchtung » de Kappert & Rudorf [110], un résumé de la génétique des Maïs.

Les chercheurs indiens ne sont pas restés à l'écart de l'étude génétique des plantes. Chalam & Venkateswarlu [46] ont passé en revue, dans leur traité de « Botanique d'Agriculture en Inde », les méthodes de sélection appliquées au Maïs en vue de son amélioration : la sélection massale, la sélection par la technique de l'épi à la ligne, l'hybridation variétale, la production de Maïs hybrides. Ils rejoignent ainsi Jugenheimer [108] qui publia, en 1959, un excellent ouvrage sur « La sélection des Maïs hybrides ». Ils considèrent comme pionniers de cette amélioration : Hopkins [97], Beal [20], Shull [169].

Pour terminer, disons un mot des gènes conditionnant la synthèse des protéines, en particulier de la lysine. Ils sont encore peu connus. On peut en citer deux avec certitude : Opaque-2 et Farineux-2 [128-129]. Le troisième, que nous n'hésitons pas à mentionner ici, est dit « Gène martiniquais ». Nous lui attribuons, sous toutes réserves,

un rôle similaire, du fait que le SCAr III (Maïs hybride du Dahomey) auquel il a donné naissance s'est révélé à notre analyse suffisamment riche en lysine. En effet si, commercialement parlant, ce Maïs paraît localement très apprécié pour son état farineux, on ignorait jusqu'ici, à notre connaissance, qu'il est également digne d'intérêt du point de vue protéique. Eu égard à nos résultats analytiques, nous sommes en droit de classifier le « gène martiniquais » parmi ceux qui conditionnent la synthèse de la lysine dans le grain de Maïs. Ceci reste à démontrer plus concrètement. Mais ce qui est évident pour l'instant, c'est que son utilisation au Dahomey a amélioré de façon considérable la valeur nutritionnelle du parent récurrent qu'est le Maïs local dont on est parti.

Sur le plan biochimique proprement dit, nous avons exposé, dans un autre chapitre important, les principaux travaux antérieurs effectués sur le Maïs. Nous y avons analysé plus amplement les publications des chercheurs américains [128-129], français [138-139], à propos des variétés « Opaque-2 » et « Farineux-2 ».

CHAPITRE II

INTRODUCTION DU MAIS EN AFRIQUE

Avant l'arrivée des Portugais, il existait déjà en Afrique des états d'un haut degré d'organisation. On peut citer les royaumes de Tekrour, de Songhoï ou Songhaï, les royaumes Mossi avec à leur tête le Morho-Naba, les royaumes Yoruba d'Ifê et d'Oyo, le royaume de Kanem, l'empire du Mali d'où Kankan Moussa partit au XIV^e^ siècle pour La Mecque, où il fit grande sensation avec sa nombreuse suite et ses lingots d'or. Le célèbre géographe et navigateur arabe Ibn BATOUTAH visita en 1352 cet empire ; il y constata l'existence d'une vie grouillante d'activités.

La légende orale veut que des beignets de Mil et de Maïs aient été offerts à ce voyageur. Mais la traduction de DEFREMERY & SANGUINETTI [65] mentionne seulement « des beignets ou gâteaux spongieux qu'on fait frire avec du gharti », sans mention du Maïs.

Ajoutons qu'il a, par ailleurs, précisé que « le riz est nuisible aux blancs qui en font usage ; le foûni est meilleur », écrit-il. Mais qu'est-ce que le foûni ? Nous pensons qu'il s'agit du Fonio ou Digitaria exilis, céréale très riche en méthionine. BUSSON & Coll. [39] ont trouvé dans une variété de la plante, Digitaria iburia Stapf, des taux de méthionine de l'ordre de 5,6 p. 100.

Il faut d'autre part citer le royaume Haoussa dont le Sultanat de Kano constitue une survivance, ensuite le royaume de Monomotapa avec sa capitale Zimbabwé, que

les Portugais visitèrent en 1514 et où Gonzalo da Silveira fut assassiné en 1561. L'un des derniers royaumes négro-africains fut celui d'Abomey et dont le plus courageux de ses rois, Behanzin, fut défait en 1894, à la tête de sa célèbre armée qui comprenait des amazones. Celles-ci étaient des femmes-soldats dahoméennes qui n'hésitaient pas à se faire ôter quelquefois le sein droit pour mieux épauler leurs fusils.

Il faut citer aussi l'existence de grands centres comme Tombouctou, Gao, capitale du Songhoï où l'on peut encore aujourd'hui prier au pied du tombeau de l'Askia le Grand, l'existence des centres comme Bornou, Ouadaï..., qui furent des plaques tournantes d'échanges intellectuels et de commerce (épices, sel, métaux précieux).

Dans ces divers états, les organisations économiques ne manquaient pas de hardiesse et de réalisations pratiques. Nous n'en voulons pour preuve que l'exemple de l'Askia le Grand qui répandit plus de cent mille pièces d'or à La Mecque en aumône et dont nous livrons ici un de ses fameux plans de mise en valeur que les vieux Sonrhaï transmettent de bouche à oreille : exploitation des mines de Teghazza, canalisation du Niger, forage des puits, amélioration de la production agricole, installation de jardiniers juifs du Touat, réorganisation des pêcheries, fondation d'un ministère des blancs étrangers. Cette information nous vient de « Le Monde Africain Noir », ouvrage de Joseph Ki-Zerbo [113], professeur agrégé et écrivain voltaïque. Les empires de Mali et de Ghana soulevèrent la convoitise de leurs voisins au point qu'un mouvement religieux, venu du sud du Maroc, se répandit en Mauritanie jusque dans la vallée du fleuve Sénégal, sous la bannière d'Ibn Yacine, puis d'Abou Bekr, en croisades conquérantes, les Almoravides.

Maïs, comme en Amérique, les royaumes africains disparurent sous la pression des guerres de conquête. Il est vrai que l'esclavage existait en Afrique depuis la plus haute antiquité. C'était un esclavage sédentaire qui ne soulevait point la panique et l'insécurité. Mais, avec la traite des esclaves — qui débuta vers 1550 et ne fut interdite que dans les années 1815 à 1820 — les autochtones s'enfoncèrent au cœur de la forêt où ils ne pouvaient survivre qu'en se nourrissant de produits de la cueillette. La famine, la maladie, notamment la malaria, la trypanosomiase, la bilharziose, l'onchocercose..., les décimèrent en grande partie, sans compter que de multiples transferts d'esclaves hors du continent durant plus de deux siècles avaient déjà contribué à réduire considérablement la population.

En effet, la saignée esclavagiste fut très dévastatrice pour l'Afrique. Il ne pouvait en être autrement puisqu'on pouvait facilement troquer par an 9 000 tonnes de Maïs contre 100 000 captifs valides. Marvin P. Miracle [134] a précisé ce point important dans son récent ouvrage sur le Maïs en zone tropicale. Cependant, il ne nous semble pas que le Maïs fût introduit dans le continent africain seulement à l'époque de l'esclavage. Souvenons-nous des beignets dont parlait Ibn Batoutah [99] dans ses relations de voyage au Mali et que la légende prétendait être à base de Mil et de Maïs. D'autre part, ajoutons-y la description que l'écrivain portugais Valentim Fernandes [76] fit des côtes de Guinée en 1502 et où il mentionna parmi la flore africaine la présence abondante du Maïs qu'il nomma Milho Zaburro, tandis qu'au Brésil cette céréale était appelée Milho Brazil. Cette relation de voyage qui nous paraît d'un très grand intérêt et le fait que le Maïs constitue une base d'alimentation très appréciée dont l'aire, à quelques exceptions près,

couvre toute l'Afrique, ont renforcé notre conviction que son introduction dans le continent africain fut faite à une époque précolombienne.

D'autre part, les commentaires de Monod, Teixeira & Mauny]135] sur la description de Valentim Fernandes et l'analyse de Jeffreys [101-102] ont permis de conclure que Milho Zaburro et Milho de Guynee étaient synonymes et qu'ils étaient l'un et l'autre employés pour désigner le Maïs.

Notre conviction de l'époque précolombienne à propos de l'introduction du Maïs en Afrique trouve un excellent écho dans la récente publication [101-102] de Jeffreys qui affirme, après une sérieuse documentation, que le Maïs « poussait déjà en Guinée lors de l'arrivée des Portugais en 1446 ».

Mais le problème n'est pas résolu pour autant ; il reste, à notre avis, à établir par qui et comment cette céréale est parvenue en Afrique.

Portères [155] pense que son introduction serait d'origine européenne. Or, d'après R. Mauny et selon Murdock, anthropologue américain, « la plupart des plantes cultivées par les Egyptiens venaient du Moyen-Orient ». Ainsi l'a rapporté Joseph Ki-Zerbo [113] dans son livre « Le Monde Africain Noir ». Cela nous paraît pouvoir justifier, en partie peut-être, le fait que le Maïs soit également appelé « Céréale d'Egypte », « Sorgho de Syrie, de Turquie » ou « Céréale de La Mecque », etc. [156].

Jeffreys a constaté pour sa part que : « Cabral, le premier Portugais qui se rendit au Brésil en 1500, ne toucha pas la Guinée ; il en est de même pour Amerigo Vespucci, lors de son retour du Brésil en 1501. Puis le

Brésil fut délaissé par les Portugais et les Hollandais n'y arrivèrent que beaucoup plus tard. Cependant, il est important de constater qu'entre 1500 et 1550, le maïs était cultivé sur la côte de Guinée pour l'exportation. Tout cela ajouté au fait que des Portugais eux-mêmes — précise encore Jeffreys [101] — affirment que le Maïs arrivait au Portugal venant de Guinée durant le règne du roi Jean qui mourut en 1495. »

Mais alors, par qui le Maïs aurait-il été introduit en Afrique ?

Or, Jeffreys soutient que « Zaburro serait un nouveau Sorgho introduit par les Arabes, bien avant que Christophe Colomb n'eût découvert l'Amérique ». Quant aux légendes locales, elles « établissent que le Maïs a été apporté du Nord-Est (E. O. O Moore, 1916) par un « Etranger au teint jaune » qui traversa le fleuve Niger » [157].

Nous pensons, quant à nous, que la plante aurait pu être implantée dans le continent africain par les Al-Mrabettin ou Almoravides, vers 1042. D'autre part, elle aurait pu être apportée par les Yoruba venus de Nubie et qui l'auraient introduite au Nigéria au XI^e^ siècle. N'oublions pas que la région du Nigéria devenue aujourd'hui le pays yoruba fut envahie, d'après A. Talbot (1926), « entre 600 et 1000 de notre ère chrétienne, par l'est. Les nouveaux arrivants établirent la capitale Yoruba à Ifé. Oyo ne fut fondée que vers l'an 1100. »

Notre opinion comme celle de Jeffreys trouve son fondement dans les découvertes faites à Ifé, en 1953, par Goodwin [90]. En effet, parmi les témoins archéologiques ramenés à la lumière, on découvrit « des pots de terre

ayant subi, avant cuisson, écrit Portères [156], une ornementation par roulage-impression d'épi de Maïs sur la glaise façonnée ». Il s'agit là, à notre avis, d'un fait troublant qui rappelle l'art indien avec la différence que, dans la décoration des poteries aztèques, le Maïs apparaissait en relief et non pas en impression comme chez les Yoruba. Est-ce à cause de cette importante découverte d'Ifé que Portères a écrit par ailleurs dans son ouvrage intitulé « Les appellations des céréales en Afrique » : « Si archéologie, légendes et histoires (Histoire) sont exactes, le Maïs aurait été connu des Yoruba avant l'an 1100 après Jésus-Christ ! »

Nous ne nions pas le fait que le Maïs soit d'origine américaine. Il a pu être importé en Afrique à l'époque précolombienne par des navigateurs peut-être phéniciens (ils ont fait le tour de l'Afrique). Mais c'est une pure hypothèse. Ils seraient arrivés dans le continent africain bien avant les Arabes.

En résumé, nous pensons d'une part, que le Maïs aurait été introduit en Afrique à une époque précolombienne, avant même que l'Amérique ne fût découverte par Christophe Colomb, et d'autre part, qu'il aurait été apporté par les Arabes en Egypte, en Ethiopie, au Maghreb, puis au Mali par l'intermédiaire des Al-Mrabettin, et au Nigéria par l'intermédiaire des Yoruba. N'oublions pas que ce sont les Arabes qui ont apporté des blés en Afrique subdésertique (Tombouctou). Les voies de pénétration naturelle ont été sans doute les fractures tectoniques du continent.

Quoi qu'il en soit, nous verrons plus loin que certains au moins des Maïs africains sont biochimiquement bien distincts des Maïs actuellement cultivés aux Etats-Unis ou en Europe. Ces différences ne sont pas étonnantes, si l'on considère comme vraisemblable une introduction très ancienne du Maïs en Afrique.

CHAPITRE III

ECOLOGIE

Plante des bords de l'eau, le Maïs se rencontre en Afrique depuis l'embouchure de la Gambie jusqu'au Cap, sur une grande diversité de sols, dans les hautes plaines d'Egypte, les plateaux du Bauchi, du Bamenda, autour du lac Tchad, comme dans les vallées profondes le long du Nil, du Niger, de l'Ouémé, du Congo, du Zambèze, etc. Il pousse dans les terrains aérés riches en humus.

Si le Maïs a si bien pris en Afrique dans de nombreuses contrées où il est cultivé au point de devenir la principale céréale africaine et par conséquent une base d'alimentation de première importance avant le Riz, le Mil, le Manioc, c'est qu'il a trouvé sur place une écologie semblable à celle de l'Amérique d'où il paraît originaire. Cela a favorisé sa rapide distribution sur le continent africain. En effet, le Maïs pousse bien sur la terre glaise où l'on note cependant une carence en zinc au Ghana par exemple, sur les terrains argilo-sablonneux (Baoulé), ou sur la terre de barre du Bas-Ouémé, malgré une déficience potassique récemment détectée autour de Porto-Novo. Il pousse sur les différents niveaux d'altitude, comme l'a constaté Paul Pélissier [152] au Dahomey, sur les « bourrelets de berges » ou « houégbodji », sur les parties déclives du sol ou « tikpla » et dans les bas-fonds ou « dossota », dits terres à riz ou trous à poissons, à la condition que, dans ces terrains encaissés, le Maïs ne soit semé qu'après la décrue. Il y a lieu de préciser également que

cette plante graminéale craint les sols trop salés où les colloïdes du substrat sont précipités par le chlorure de sodium ambiant, et qu'il n'affectionne pas non plus les terres à carapace ferrallitique, bowés ou latérites, qui sont des sols peu fertiles, insuffisamment aérés.

Malgré ces critères préférentiels, ils n'empêche que le Maïs est une plante omniprésente partout dans le monde, sous divers climats, depuis les régions chaudes à hautes ou à petites pluviométries de l'Afrique aux contrées froides de l'U.R.S.S. ou du Canada.

En Afrique donc, les terres à Maïs se rencontrent dans différentes zones climatiques, régions sahélo-sahariennes à climat subdésertique, régions sahélo-soudaniennes à climat tropical, régions soudano-deccaniennes ou soudano-guinéennes à climat tropical semi-humide, régions de la forêt-galerie à climat tropical humide, régions de la forêt dense à climat équatorial.

Deuxième partie

IMPORTANCE DU MAÏS

CHAPITRE IV

IMPORTANCE DU MAIS EN AFRIQUE

L'Afrique fait un effort considérable pour étendre l'aire culturale du Maïs en zones soudano-guinéenne et équatoriale.

De nombreux sols sont rendus aptes à l'agriculture grâce à l'irrigation, exemples : delta moyen du Niger, à Sansanding au Mali, vallée de la Volta au Ghana ; grâce à une main-d'œuvre plus abondante et plus spécialisée, grâce à une meilleure organisation du paysannat ; grâce aussi à la lutte du Service d'hygiène et sanitaire contre les moustiques, les Glossinae Palpalis et Morsitans, le Simulium Damnosum, la Bilharzia, et grâce à une fertilisation et à une mécanisation progressives et appropriées.

Les mesures d'ordre sanitaire protègent les travailleurs terriens et leurs bestiaux contre les déchéances maladives ; les travaux du génie rural épargnent aux terres à culture un épuisement systématique.

Dans le cadre de cette rénovation, des fermes-pilotes sont un peu partout instaurées. La terre est bonifiée, fertilisée.

La mécanisation ne doit pas être pratiquée n'importe comment. Elle doit être adaptée aux conditions locales et à l'épaisseur de la couche arable. Mal appliquée, elle risque de compromettre dangereusement l'aptitude du sol à la culture, par conséquent l'avenir de la nation, en ce sens qu'elle ramène en surface une couche néogène peu fertile, à moins qu'on ait affaire à du loess. Donc, pour la réussite d'une opération aussi importante que la mécanisation, il convient de tenir compte, répétons-le, du contexte pédologique local et des habitudes ancestrales.

Dans ce domaine, les résultats récents à propos de la culture maïsicole sont encourageants.

Jacques May [127] rapporte que le Ghana a produit 183 000 tonnes de Maïs sur 252 000 hectares en 1962, contre 168 000 tonnes sur 142 000 hectares en 1950. Le Nigéria en a récolté en 1951, sur 808 000 hectares 755 000 tonnes dont 270 000 pour la seule région de l'Est ou Pays yoruba. Quant aux Congo-Kinshasa, Rwanda et Burundi réunis, leur production a été de 448 179 tonnes en 1959 et 1962.

Le Conte [118] note qu'au Dahomey la culture du Maïs couvre 350 000 hectares de terre cultivable, soit 1/3 du territoire. Cette république du Golfe du Bénin, ainsi qu'il a été déjà souligné, apparaît comme une véritable « corn belt » africaine, comparée à d'autres pays en voie de développement :

Haute-Volta	100 000 ha
Madagascar	100 000 ha
Mali	90 000 ha
Sénégal	30 000 ha

CHAPITRE V

IMPORTANCE DU MAIS AU DAHOMEY

I. — MILIEU

Le fait que le Dahomey arrive en tête dans l'Ouest Africain avec une production de 250 000 tonnes de Maïs par an ne doit pas surprendre, à cause de son climat qui convient bien à la maïsiculture.

Le Dahomey est compris entre 6° et 12° 30' de latitude Nord, 0° 45' et 3° 45' de longitude Est. Cornevin [55] écrit que cette république « fait penser par sa forme à une gerbe s'évasant vers le haut ou à une main sortie de l'Océan qui s'agripperait au sol ». Pour nous, elle paraît ressembler à un poing de géant dressé sur un moignon d'avant-bras, le tout long de 760 km N.-S., large de 300 km dans sa partie septentrionale et de 125 km au Sud dans sa plus petite largeur. Elle est limitée à l'Est par un puissant voisin, le Nigéria, aux Nord et Nord-Ouest par le Niger, la Haute-Volta, à l'Ouest par le Togo et au Sud par l'Océan Atlantique qui lui sert de réservoir de protéines animales, puisque les pêcheurs dahoméens Plah et Popo en tirent des pêches miraculeuses.

Le climat du Dahomey est du type équatorial au Sud, avec la particularité qu'il comporte quatre saisons dont deux humides (Mars-Juillet, Septembre-Novembre) et deux sèches s'insérant entre les premières. Au Nord, le climat est du type tropical sahélo-soudanien avec une saison sèche et une saison humide. Là, la température varie de

18° à 35°, avec une pointe de 45° dans la plaine de Kandi, tandis qu'elle oscille entre 22°5 et 29°1 au Sud du pays.

Une autre originalité du climat dahoméen réside dans le fait qu'il est nuancé par l'influence d'un vent sec appelé Harmattan qui traverse le territoire en direction Nord-Sud vers l'Océan, centre de basse pression et point de départ d'une brise marine soufflant en sens inverse de la zone côtière-à-filaos jusqu'à Abomey, capitale historique.

La pluviométrie varie de 810 mm à 1 200 mm au Sud, de 1 250 mm à 1 350 mm aux Nord et Nord-Ouest, au pied de l'Atakora, plissement schisteux haut de 800 m et ayant son prolongement au Togo et au Ghana.

La population du Dahomey est, d'après les derniers recensements [67], de 2 600 000 habitants répartis sur une superficie de 116 000 kilomètres carrés, soit une densité de plus de 22 habitants au kilomètre carré, ce qui plaide en faveur d'une main-d'œuvre abondante. Autour des villes comme Djougou, Cotonou, la densité est bien plus forte ; elle est de 150, voire de 200 dans Porto-Novo et sa banlieue. Une surexploitation de ces centres surpeuplés provoque de sérieux problèmes de sous-nutrition.

Le cultivateur dahoméen s'adonne à la culture vivrière : Maïs, Manioc, Igname, Patate (Ipomea batatas), Taro, Riz, Mil, Fonio... Il se sert d'un arsenal de travail désuet, peu efficace, mais qu'il manie à la perfection (houe, daba, hache, machette...). Dans son admirable livre consacré à l'alimentation africaine, Busson [36] a donné un répertoire complet des instruments aratoires du paysan noir. Mais — comme nous l'avons déjà signalé — on commence à installer au Dahomey des kibboutz ou fermes-pilotes utilisant du matériel motorisé.

Des plans de modernisation sont en train d'être réalisés sur le terrain par la mise en valeur de la Vallée de l'Ouémé, par exemple. Les rénovations portent non seulement sur la fertilisation, la mécanisation, mais aussi sur l'obtention de bonnes conditions de conservation et de stockage des grains.

II. — CONSERVATION — MODES DE STOCKAGE

Si le surplus des récoltes pouvait être stocké convenablement, l'individu aurait plus de chance de trouver à sa portée une alimentation abondante et de qualité. Or, le voyageur qui traverse les zones de culture en Afrique observe la présence d'énormes bouquets d'épis de Maïs suspendus aux arbres où ils se conservent par dessèchement, et aussi de greniers sortes de grandes jarres en terre glaise coiffées d'un toit de chaume cônique. Ces modes de stockage tiennent sans doute les caryopses loin des rongeurs, mais ils ne les mettent pas à l'abri des insectes déprédateurs qui viennent y déposer leurs œufs, tel Sitophylus Orysa.

Ces greniers, qui n'ont d'ailleurs qu'un rôle individuel, ne sont pas satisfaisants du point de vue de la dimension ; c'est pour cette raison qu'ils sont édifiés çà et là dans les plantations. Leur dispersion constitue un facteur de limitation de la production céréalière, puisqu'ils empiètent sur les surfaces cultivables. Les pays en voie de développement ont compris cet état de chose. C'est pourquoi ils construisent désormais des silos largement dimensionnés, parfaitement clos, souterrains ou montés sur pilotis, comme on en rencontre à présent au Dahomey. Ce sont des réservoirs à grains, communautaires ou régionaux.

D'autre part, l'attention du paysan doit être attirée sur le fait que les opérations de conservation doivent être rapidement menées après la moisson afin d'éviter que le produit de la récolte soit contaminé avant stockage. Nous y reviendrons plus tard dans les chapitres réservés à nos travaux personnels où nous avons en outre proposé des solutions pour la conservation des caryopses.

En ce qui concerne la protection des emblavures béninéennes, les agronomes du Dahomey font appel à deux ordres de solution : l'un chimique, utilisant des insecticides contre les parasites agricoles, l'autre mendélien ; ce dernier consiste à créer une nouvelle variété de Maïs résistant à l'attaque des parasites. Le SCAr III, par exemple, serait plus résistant à Puccinia Polysora ou rouille du Maïs, mais très vulnérable aux attaques de Sitophylus Orysa. Quoi qu'il en soit, l'emploi des formes hybrides est extrêmement souhaitable en Afrique à cause de leur résistance à la verse, aux parasites, et à cause de leur meilleur rendement à l'hectare. L'hybridation pratiquée dans les pays techniquement avancés est une méthode d'amélioration des plantes qui paraît avoir désormais apporté suffisamment de preuves pour être jugée préférable à la sélection massale connue de tous les agriculteurs du monde depuis des millénaires.

III. — UTILISATION LOCALE

Du point de vue de son emploi au Ghana, Togo, Nigéria... et particulièrement au Dahomey, le Maïs ou « Agbado » est utilisé de différentes façons dans l'alimentation dont il constitue la matière première, bien avant le Manioc et les autres céréales. Il est consommé soit grillé, soit bouilli à l'eau, puis salé ou sucré. Il est transformé en une masse compacte après pulvérisation au mortier

ou sur une meule ou bien au moulin, ce qui n'est pas très apprécié des consommateurs à cause du goût métallique que lui donne ce dernier procédé. D'autre part, l'utilisateur aime que la masse compacte ait une légère saveur à la fois acide et sucrée. Ce faisant, il la lui fait acquérir en soumettant, avant pulvérisation, les caryopses à une fermentation de 24 à 36 heures ou plus. L'opération s'achève par un tamisage pour en éliminer le son qui sera donné aux animaux de basse-cour. La partie fine, blanche ou jaunâtre, prélevée au fond de l'eau, est strictement réservée à l'alimentation de l'homme. On l'appelle « Ogui » ou « Mawê ». Elle sert à préparer une bouillie épaisse pour le déjeuner du matin, ou une bouillie légère pour le nourrisson, ou une pâte ferme appelée « Tô » au Mali et en Guinée, « Oka » au Nigéria et au Dahomey, où elle est encore désignée sous le nom d'« Akoumê » comme au Togo. C'est une pâte familiale servie aux repas de midi et du soir avec une sauce de légume, de poisson, de viande, dans une proportion de 300 à 500 grammes de pâte, par exemple, pour 50 à 100 grammes de viande ou de poisson par jour. D'où le déséquilibre existant dans ce mode d'alimentation entre la consommation de glucides et de protéines végétales et la consommation de protéines d'origine animale.

On prépare aussi pour le commerce des variantes de cette pâte familiale. Elles sont plus blanches et plus fines, elles prennent les noms d'« Aguidi », d'« Akassa », d'« Eko », selon leur plus ou moins grande fermeté. L'« Ablo », lui, est également préparé à partir du « Mawê » cuit cette fois à la vapeur, ce qui rend ce mets plus léger et plus digestible. Enfin, la masse compacte peut être cuite à l'huile de palme ou de coco, c'est le fameux beignet de Maïs [99], souvent consommé dans les cérémonies, arrosé de miel ou de sucre candi. Elle peut être brassée intimement avec de la banane, puis placée au four pour être ensuite servie comme un dessert très apprécié.

Or, comme le fait remarquer Alexandre Adande [1], ethnologue dahoméen qui fut pendant longtemps collaborateur du Professeur Théodore Monod à l'I.F.A.N. de Dakar, le Maïs est de plus en plus concurrencé par le Manioc sur le plan alimentaire. Dans sa récente enquête sur les « Pays du Bas-Ouémé », Paul Pélissier [152] cite le point de vue d'Adande qui écrivait : « Entre 1920 et 1930, l'usage du gari dans l'alimentation locale n'était pas répandu comme il l'est aujourd'hui », et notait plus loin : « La célébrité de la farine de manioc est très récente au Dahomey ; jusqu'à une époque récente, le maïs était le seul aliment de base. »

L'intervention du gari ou farine de Manioc dans l'alimentation au Bénin montre une fois de plus l'importance que le consommateur dahoméen attache à la qualité bourrative du nutriment, ainsi que nous l'avons déjà signalé, au détriment de sa richesse en protéines, c'est-à-dire au détriment de sa qualité plastique. C'est là l'erreur qu'il commet depuis plusieurs siècles ; c'est en cela qu'il faut lui aider pour l'amener à faire preuve de plus de logique dans le choix de ses aliments, car il ne faut pas omettre de souligner le fait que le Manioc, bien que pauvre en protéines par rapport au Maïs, semble lui être préféré de plus en plus. Cependant — nous l'avons d'ailleurs précisé déjà — le Dahoméen aime consommer de la viande de bœuf, de mouton, mais insuffisamment, de même que de la volaille, de la venaison particulièrement recherchée par ceux qui en ont le moyen. Il est friand de crustacés, de mollusques, de crabes. Il fait abondamment usage de légumes verts, de condiments, d'épices, voire même avec excès. Voilà, à n'en pas douter, un mode d'alimentation confortable et varié accessible seulement à quelques classes, mais non pas aux petits terriens de l'intérieur, ni aux déshérités des villes qui constituent en grande partie le peuple.

Pales [151], Adrian & Sayerse [4], Creac'h [57] ont décrit de nombreux plats africains en insistant sur leur valeur biologique. Périssé [153] a mené au Togo une enquête sur le mode d'alimentation de 20 à 35 familles du village d'Attitogon, à l'issue de laquelle il a constaté l'importance de plus en plus grande du Maïs dans cette agglomération rurale, venant immédiatement après le Manioc. Or, c'est l'inverse qui se produit au Dahomey.

Par conséquent, loin d'être un aliment de soudure, comme parfois dans les zones rizicoles, le Maïs est pour un très grand nombre d'Africains un réel support nutritionnel utilisé sous des formes diversement accommodées.

IV. — MALNUTRITION — KWASHIORKOR

Dans les chapitres précédents, nous avons souligné le déséquilibre qui existe entre la quantité exagérée de glucides et la quantité insuffisante de protéines, surtout de protéines d'origine animale, que l'autochtone consomme à ses repas. « Les aminoacides, écrit le Professeur Genevois [85], sont donc à la fois les pierres dont est construit l'édifice de la cellule vivante et les matériaux dont la cellule fait ses outils, les catalyseurs et les ferments. » Ainsi apparaît dans toute sa réalité l'extrême nécessité des acides aminés pour l'organisme vivant. De même, devient plus probante l'importance du Maïs sur le plan nutritionnel dahoméen en tant que matière première biologique. Ceci étant admis en même temps que la notion de la quantité des aminoacides, un autre concept paraît également utile à notre connaissance, c'est la notion de la qualité des acides aminés. Or, malgré le rôle essentiel qu'il joue dans l'alimentation tropicale, le Maïs est considéré en Europe comme un aliment pauvre en lysine. Ce qu'il faut surtout noter, c'est qu'en Afrique la qualité plastique

des protéines n'est encore pas clairement admise. C'est notamment pour leurs glucides que les céréales sont consommées, c'est pour leur qualité « bourrative » qu'elles sont appréciées des utilisateurs. Face à certaines nécessités vitales, la devise du paysan autochtone aurait pu être : « Quantité d'abord, qualité ensuite si possible. »

Une autre notion qui nous paraît primordiale réside dans le fait que c'est l'acide aminé le plus faiblement représenté qui conditionne la valeur d'une ration alimentaire. Par conséquent, la qualité d'une protéine, la richesse de son apport exogène et le rôle de facteur limitant de certains de ses aminoacides, la lysine par exemple, constituent trois notions importantes. A notre avis, on doit souvent y faire appel pour établir valablement un régime susceptible de maintenir l'homme dans un excellent état d'équilibre biologique ou de lui assurer une récupération certaine en cas de besoin. L'importance de ces trois notions se retrouve aussi dans le fait que la F.A.O. recommande d'apprécier la valeur nutritionnelle d'un aliment par rapport aux protéines de l'œuf [73], parce que ce sont des protéines de haute qualité. Mais on oublie que le besoin de l'homme en aminoacides soufrés est bien plus faible que celui de l'oiseau. Par conséquent, il faudrait peut-être rechercher un élément de comparaison autre que l'œuf.

C'est également dans un but d'apport protéique abondant à l'organisme qu'on a préparé des farines et des biscuits supplémentés où entrent des produits riches en protéines, Vigna ou Niébé d'Afrique, levure de bière, poudre d'œuf, poudre de poisson ou de viande. Ces condensés protéiques supplémentent le plus souvent le Maïs. Ce qui souligne là encore l'importance de la connaissance de la composition protéique de cette céréale que nous avons étudiée grâce à des procédés analytiques accessibles.

Aussi, avec une insuffisance d'apport de protéines de qualité se produit-il à la longue, chez l'homme, un dysfonctionnement de son organisme, le pouvoir de synthèse de son métabolisme se trouvant considérablement amoindri. L'individu malnutri est affecté de dénutrition protéique : c'est la malnutrition. Cette affection implique aussi une carence vitaminique, une déficience de certains oligo-éléments, le fer par exemple, due à la présence de certains parasites sanguinicoles dont le sujet peut être atteint. Au plus fort du syndrome, cette « malnutrition protéique et calorique » devient une très grave maladie appelée « Kwashiorkor », décrite par le Docteur Cécilia Williams, en 1930, au Ghana. Brock & Autret [33], d'une part, Autret & Behar [14], de l'autre, en assurèrent la vulgarisation par leurs publications, en 1952 et en 1955. Notons cependant que le mot « Kwashiorkor » implique aussi une idée de privation de soins dont souffrirait l'enfant qui se sent délaissé de plus en plus et dont la mère attendrait un autre bébé. Cela paraît d'autant plus probable que ce terme ne dérive pas de l'anglo-saxon, mais de deux petits dialectes du Ghana, le Ga et le Twi, dans lesquels « Kwashiorkor » signifierait « enfant rouge » et se prononcerait « Kwashioko », c'est-à-dire sans les deux r. Or, au Congo-Kinshasa, le petit malade atteint de malnutrition protéique est appelé « m'buaki », ce qui voudrait dire « rouge ». Nous pensons donc que le qualificatif « rouge » est avant tout employé pour caractériser la dyspigmentation qui survient chez les individus souffrant de Kwashiorkor. La malnutrition a déjà fait l'objet de nombreuses thèses comme celles de Henri Dupin [71] et de Pierre Boucher [27].

Nous avons rapporté plus haut les causes favorisantes de la maladie de polycarence sans insister sur le rôle des tabous. Or, ces interdits sont des facteurs raciologiques importants dont il faut tenir compte pour saisir les causes

profondes de la malnutrition et la nature de l'aide alimentaire qui convient à tel ou tel pays en voie de développement.

En Inde, par exemple, où l'abattage des animaux domestiques est interdit par des concepts religieux, certaines régions habituées à manger du Riz depuis des millénaires n'accepteraient pas facilement de se mettre à la consommation du Blé, quand bien même leur mode d'alimentation serait strictement végétarien.

En Afrique, les tabous diffèrent d'une région à l'autre, donnant ainsi lieu à une curieuse zonalité que les aborigènes observent scrupuleusement. Chez les musulmans, l'usage de la viande de porc est formellement interdit. Dans certaines contrées, il est défendu de consommer du cheval, sans doute pour des raisons économiques. L'animiste, soumis à quelque pacte avec les génies de la forêt, ne mange pas de la viande de chèvre. Cet animal, tout comme la poule, est donné en offrande aux esprits de la brousse pour conjurer le mauvais sort. Le dindon et le coq, regardés comme symboles de l'honneur, sont souvent offerts à la personne qu'on reçoit sous son toit, car la société noire considère l'étranger de passage comme un envoyé du ciel.

Au Ghana, les œufs de poule ou de tout autre gallinacae sont exclus de l'alimentation de la femme enceinte, de la nourrice, du nourrisson et du jeune enfant, sous prétexte qu'ils sont préjudiciables à leur santé. Ce qui est vrai en partie chez certaines femmes en état de grossesse à cause des phénomènes allergiques qu'ils occasionnent parfois et qui risquent de mettre la vie du fœtus en danger. Mais lorsqu'il s'agit d'enfants de deux à trois ans, l'observance de cet interdit les prive d'un aliment de haute qualité protéique dont ils ont besoin au moment du sevrage.

Une autre cause découlant des habitudes culinaires réside dans le fait qu'en Afrique, à l'exception des fruits, les victuailles ne sont consommées qu'après une longue cuisson, ce qui débarrasse l'alimentation de bactéries, à n'en pas douter, mais aussi d'une partie de facteurs indispensables à l'organisme, les principes vitaminiques par exemple dont on conçoit désormais l'extrême nécessité depuis les travaux de Mme Randoin & Simonnet [159]. Notons, avec Olumbe Bassir [18], que cette carence est pourtant moins ressentie par les consommateurs de bière de Mil ou de Maïs, de vin de palme, à cause des vitamines du groupe B contenues dans ces boissons très utilisées par certaines peuplades d'Afrique.

Quant aux principes vitaminiques PP, les Indiens d'Amérique ont su en tirer parti dans les « tortilla » de Maïs qu'ils consommaient puisqu'ils savaient les libérer de leur combinaison protidique par de l'eau de chaux. Kodicek [114] a vérifié ce phénomène en montrant que toute eau alcaline permet d'opérer l'hydrolyse du niacinogène par une cuisson de 80° pendant une heure environ. Le Professeur Genevois [86] n'a pas manqué d'insister sur ce fait historique et scientifique d'une très grande importance. En effet, le Maïs renferme jusqu'à 150 mg et même jusqu'à 200 mg de niacine par kilo pour certaines variétés. C'est dire qu'une consommation quotidienne de cette céréale cuite à l'eau de chaux ne devrait pas engendrer la pellagre, appelée autrefois « Collier de Casal », nom dû au médecin espagnol Gaspar Casal, en 1735.

Tout compte fait, les causes profondes et insoupçonnables de la malnutrition et du Kwashiorkor se rattachent davantage aux habitudes séculaires qu'aux nécessités vitales. Il semble donc qu'il suffise de réformer les tabous en les explicitant autrement, de modifier les modalités

culinaires, de pratiquer la cuisson du Maïs à l'indienne, de faire appel à plus de vitamines et à plus de protéines animales dans l'alimentation, pour voir disparaître peu à peu les maladies de nutrition. Par conséquent, une éducation de base paraît nécessaire à l'autochtone pour l'amener à faire preuve de plus de logique dans le choix de ses aliments. Le Dahomey a pris conscience des problèmes de nutrition auxquels il est confronté. Ce faisant, il s'ingénie à améliorer ses plantes alimentaires et plus particulièrement le Maïs. C'est ainsi qu'il a obtenu une variété maïsicole hybride à partir d'une race locale et d'un gène martiniquais, le SCAr III, que nous avons trouvé fort intéressant et dont nous avons livré la composition protéique dans le chapitre réservé à nos résultats. D'autre part, des organismes français l'aident à installer des « Centres d'éducation nutritionnelle » [44] au Nord du pays. Il nous a paru également important de signaler que les femmes dahoméennes fabriquent aujourd'hui du fromage à Nikki par des procédés absolument locaux [9].

Il est évident que, pour pouvoir faire face efficacement aux problèmes de la sous-alimentation, il faudrait aussi lutter contre la pénurie des produits vivriers, due éventuellement soit à une trop grande sécheresse, soit à une invasion de sauterelles ou de criquets, éléments prédateurs facteurs de famine, et veiller à l'obtention d'une bonne récolte, à la meilleure conservation possible des stocks de grains consommables, en combattant la rouille des céréales, les insectes nuisibles, tel Sitophylus Orysa auquel le SCAr III est essentiellement vulnérable. Il faudrait également développer le cheptel en luttant contre les diptères qui minent bêtes et gens et dont le principal est la Mouche Tsé Tsé.

Il n'y a nul doute qu'un mode de conservation des céréales tel que nous le préconisons dans le présent travail, adapté aux conditions locales, est susceptible d'avoir, à notre avis, sa place parmi les solutions économiques concrètes proposées aux problèmes de lutte contre la faim et la sous-nutrition.

Troisième partie

SOLUTIONS AUX PROBLÈMES DE LA FAIM

TRAVAUX ANTÉRIEURS SUR LE MAÏS

CHAPITRE VI

SOLUTIONS AUX PROBLEMES DE LA FAIM

Il est clair que le problème majeur des pays en voie de développement est celui de la sous-nutrition. Des organismes mondialistes, F.A.O., O.M.S., U.N.I.C.E.F., s'en préoccupent en accord avec des organismes régionalistes : O.R.A.N.A., à Dakar, Institut de Mysore en Inde, I.N.C.A.P., en Amérique Centrale. C'est dans ce dernier Institut qu'a été mise au point la préparation de l'incaparina, un mélange de farine de tourteau de Coton, de Maïs, de Sorgho et de levure sèche. Dumont & Rosier [69] rapportent que trois millions de kilos de ce produit ont été livrés avec succès en 1965 à une partie de la population latino-américaine. En Ouganda, des biscuits supplémentés en lysine et autres aminoacides ont été distribués aux enfants pour prévenir la dénutrition protéique. Au Nigéria, en Angola, il n'est pas rare de consommer du pain à base d'arachide.

Si les problèmes de la faim dans le monde concernent l'humanité entière, ils préoccupent plus particulièrement les pays aux prises avec ce fléau. Hors de l'Amérique et de l'Afrique, la Chine et l'Inde lui avaient payé de très lourds tributs par la disparition chaque année de plusieurs millions d'individus. A notre avis, la volonté de l'une et l'autre de ces deux grandes nations de réagir contre cet état de chose se concrétise par la création de nouvelles organisations appelées « Panchayats » en Inde, « Communes populaires rurales » en Chine. Grâce à cette rénovation sociale, qui s'active dans tous les domaines et à tous les niveaux de la vie artisanale et industrielle, les moyens d'existence s'accroissent, arrachant peu à peu le peuple à l'emprise du sous-développement et de la faim. Il suffit de lire « La Chine surpeuplée, Tiers Monde affamé », de René Dumont [68] pour se rendre compte de l'ampleur de l'évolution chinoise et des leçons qui s'en dégagent. De leur côté, les chercheurs indiens, Subrahmanyan [177], Agarwal [5], Chalam & Venkateswarlu [46], Arakeri, Kumar & Coll. [10], ont réussi à mettre au point — après une trentaine d'années de recherche — les meilleures conditions d'une alimentation équilibrée, d'une exploitation rationnelle du sol, d'une culture productive et intensive adaptée au régime des pluies, en remplaçant les antiques méthodes de sélection massale par des procédés modernes d'hybridation [46].

Or, toutes ces mesures de rénovation deviendraient rapidement stériles si l'on n'observait pas en même temps une politique de lutte contre l'explosion démographique que connaissent l'une et l'autre de ces deux grandes nations, tendant à provoquer une pénurie alimentaire et donner à tort raison aux tenants du malthusianisme. Cette doctrine, née des travaux du célèbre économiste anglais Malthus, nous paraît absolument négative.

Partout, les problèmes de la faim ont éveillé la conscience des spécialites de tous bords : médecins, biochimistes, nutritionnistes, économistes, industriels, etc. Ils ont occasionné des réunions interrégionales ou internationales : Conférence interafricaine de Dschang [51], au Cameroun, en 1949 ; Symposia de la Fondation de nutrition, en Suède [93], en 1962 ; Congrès d'Abidjan [53], en 1964 ; Congrès de Hambourg [54], en 1965 ; des missions anthropologiques comme celle qui fut dirigée par le Médecin-Colonel Pales [151], en 1954, dans le cadre de l'O.R.A.N.A., sur l'alimentation en A.O.F. Ils ont donné lieu, outre les travaux que nous avons déjà cités dans ce domaine, à des publications d'ouvrages comme ceux de Maurizio [126], en 1932, sur l'Histoire de l'Alimentation Végétale depuis la Préhistoire à nos jours ; de Subrahmanyan & Coll. [177], sur les protéines dans l'alimentation ; de Schnell [165], de Busson [36], sur les plantes alimentaires africaines ; de Josué de Castro [43], sur l'inquiétude de l'humanité devant la proportion que prend l'aire géographique des maladies de nutrition.

Il faut rappeler également la part importante de l'industrie dans la préparation des condensés de protéines à partir du poisson (réorganisation des pêcheries), à partir de la viande, du lait, de la levure de bière, des légumineuses, des tourteaux d'Arachide et des graines de Coton. Notre espoir porte aussi sur les protéines qu'il est aujourd'hui possible d'obtenir à partir du pétrole grâce à certaines bactéries aérobies. Ces micro-organismes bourgeonnent au contact d'hydrocarbures et d'hydrogène dans un milieu de fermentation auquel participent du phosphore, du potassium et autres éléments nécessaires au développement des cellules vivantes riches en protéines. Ces expériences, qui débutèrent en France en 1963, se poursuivent actuellement en Ecosse sous les auspices de la Société Internationale de Recherche B.P. A cet égard, une ferme expérimentale est aménagée au Nigéria [45].

On dispose aujourd'hui de stocks importants de farine de poisson [80], ou de viande préparée, soit dans les pays sous-alimentés mêmes, par des méthodes artisanales (Ghana, Dahomey...), soit par l'industrie pour des organismes internationaux. A titre d'exemple, notons que le Pérou dispose actuellement de 500 000 tonnes de farine de poisson [80].

Il convient également de rappeler qu'un certain nombre de formules de supplémentation ont été proposées : celle de l'Ecole de Dean [64], qui a déjà servi à fabriquer des biscuits anti-kwashiorkor ; celle de l'Institut de Mysore, mise au point sous la direction de Subrahmanyan [177] ; celle de Genevois & Fofana [87], à base de Niébé ou Vigna. A ce propos, les légumineuses constituent d'importantes réserves protéiques. Nous ne saurions que trop recommander l'intensification de leur culture en Afrique. Dans ce domaine, les chercheurs de l'Inde ont pris une réelle avance en intégrant la production des protéines végétales à leur programme de développement agricole. On observe que, dans la plupart des formules de supplémentation proposées, le Maïs tient pour sa part 29 à 65 % de leur composition. Or, on a toujours pensé que cette céréale est pauvre en lysine. Mais Busson [37] a publié, dans un ouvrage que nous avons déjà cité, des moyennes de 3,1 p. 100 pour les Maïs africains. Il faut noter que ces Maïs n'ont subi aucun traitement, aucune influence de mutant comme le Maïs Opaque-2 qui titre 4,7 p. 100 de lysine. En effet, celui-ci représente une variété maïsicole nouvelle obtenue génétiquement par les chercheurs américains et qui détient à présent le record de la concentration en lysine de tous les Maïs connus [128-129].

Mais les nombreux échantillons que nous avons personnellement étudiés nous ont montré qu'il existe en

Afrique des races de Maïs dignes d'intérêt, sur lesquelles nous nous étendrons dans les chapitres réservés à nos travaux d'expérimentation.

Avant d'aborder nos recherches personnelles, nous jugeons opportun de faire le point de la question en résumant un certain nombre de travaux déjà publiés sur le Maïs.

CHAPITRE VII

TRAVAUX ANTERIEURS

Il s'agit ici de mettre en lumière les constituants chimiques du Maïs sur lesquels ont porté les travaux analytiques des chercheurs indiens, américains, français, etc., outre ceux que nous avons déjà rappelés dans les précédents chapitres.

Mis à part un grand nombre de produits végétaux qu'il a étudiés avec son Ecole, SUBRAHMANYAN [177] a répertorié, dans un excellent ouvrage publié sur l'utilité des protéines dans l'alimentation, des données numériques importantes ayant trait aux races de Maïs de l'Inde. Il s'ensuit que les Maïs indiens peuvent contenir 8,6 à 21,1 p. 100 de protéines, le maximum de ces taux correspondant aux variétés à hautes teneurs en protéines. Mais il est regrettable que ce travail ne précise pas la composition en acides aminés des plantes analysées.

Supplémentant en lysine, tryptophane, thréonine, acide nicotinique, un échantillon de Maïs riche en protéines qu'elle a choisi spécialement, une équipe de chercheurs américains [88] a examiné l'action de chacune des substances ajoutées, de même que leur interférence, sur la valeur nutritionnelle des grains supplémentés. L'expérience a porté sur 11 rations différentes, chacune d'elles étant soumise à un lot de 6 Rats. Après un mois d'expérimentation dans des conditions déterminées, les animaux sacrifiés ont été livrés à des contrôles biologiques.

Le Maïs initial ne renfermait que 2,1 mg p. 100 d'acide nicotinique, ce qui était insignifiant d'après les auteurs. L'addition de 5 mg d'acide nicotinique aux diverses rations provoquait l'augmentation de leur valeur nutritive. Cette appréciation fut faite par rapport au gain de poids observé en pesant chaque organe corporel de l'animal sacrifié.

Par ailleurs, si l'addition de la lysine seule entraînait une augmentation de poids modérée, par contre l'énergie calorifique apportée par la ration était plus élevée. D'autre part, pour chaque organe, les auteurs n'ont pas noté d'élévation du coefficient d'adiposité, mais ils ont constaté un accroissement de la teneur en protéines et en eau. L'amélioration des rations devint plus sensible avec l'introduction du tryptophane en même temps que la lysine. Il a été observé cependant qu'en présence de ces deux acides aminés, l'addition de la niacine n'apportait pas plus d'amélioration quant à la valeur nutritive des rations. Or, avec le tryptophane seul, les réponses apparaissent statistiquement invariables, mais les auteurs ont constaté, chez les animaux réactifs, une plus grande appétence qui s'est traduite par une augmentation de poids pour chaque organe examiné.

Nous avons précédemment parlé des facteurs limitants que sont certains aminoacides comme la lysine. Le tryptophane en est un autre ; les auteurs [88] l'ont montré dans leurs travaux par de nombreuses expériences. Ils en ont déduit que le rôle de facteur limitant du tryptophane vient immédiatement après celui de la lysine. Ils ont observé, d'autre part, que la carence en thréonine des différentes rations utilisées n'a pu être mise en évidence.

Abordant maintenant l'étude de l'influence de la niacine dans la consommation du Maïs, il suffit, pour en connaître davantage, de se reporter au chapitre de la

malnutrition où nous avons examiné, à propos des travaux de Kodicek [114], une recette culinaire que les Indiens d'Amérique pratiquent depuis des millénaires pour hydrolyser le niacinogène. En effet, libérée à l'eau de chaux, la niacine ou vitamine PP atteint des taux de 150 mg à 200 mg/kilo de Maïs consommé, apportant la preuve irréfutable que l'utilisation quotidienne dans l'alimentation de la céréale ainsi apprêtée n'est pas susceptible de provoquer la pellagre.

Quant à l'action de la fumure azotée et de la composition des sols sur la culture du Maïs, elle a été en Amérique l'objet de travaux de Mc Gregor et de son Ecole [120]. Ces chercheurs ont préconisé, en 1961, soit de supplémenter le Maïs, soit de le cultiver dans des conditions telles qu'il acquière une valeur nutritionnelle accrue. Ce faisant, ils ont étudié la composition protéique des Maïs cultivés sur des terrains d'Alabama et du Minnesota, en présence de fertilisants nitrés dont ils faisaient varier la proportion. Ils ont déterminé leur richesse en protéines et en acides aminés. Ils ont constaté que les Maïs cultivés sur les bonnes terres argileuses de « Barnes » sont plus riches en protéines que ceux qui poussent dans les terres sableuses d'« Anoka » et cela, pour une même proportion d'engrais azotés. Ils en ont conclu que la quantité de fumure nitrée apportée au substratum et partant, le degré de fertilité de même que la nature du sol, constituent des facteurs importants dont il faut tenir compte pour la culture du Maïs.

Bressani & Condé [30], de leur côté, ont étudié l'évolution des différentes fractions de l'azote total à partir des échantillons de Maïs guatémaltèques obtenus par pollinisation libre. Semées en mai 1956, les plantes ont fleuri vers la mi-juin. Les récoltes, commencées le 24 juin, se sont achevées le 18 août, au rythme d'une fois toutes les semaines, entre 9 et 10 h du matin. Après conservation

au laboratoire à — 20° C pendant au moins 3 heures, les caryopses ont donné lieu aux déterminations suivantes . taux d'humidité, taux d'azote total, taux des différentes fractions d'azote, à savoir : fractions acido-soluble, alcali-soluble, alcoolo-soluble et éthéro-soluble.

Les auteurs [30] ont observé que, si les taux d'humidité n'ont varié qu'après une quinzaine de jours, par contre la courbe de N total a donné lieu à une montée régulière jusqu'au 65e jour, tandis que celle de la fraction N acido-soluble a subi une baisse continue jusqu'au 30e jour pour remonter ensuite. Dans le même temps, la courbe de la fraction dialysable a présenté 3 maxima aux 16e, 44e et 65e jours, alors que la courbe de la fraction N alcoolo-soluble a montré, elle, une allure comparable à celle de la courbe de N total. Les auteurs notent que, dans le même temps, la courbe de la fraction N alcali-soluble a donné lieu à un palier entre le 10e et le 23e jours, et ensuite à une chute qui s'est prolongée jusqu'au 30e jour.

Ces observations sont caractéristiques des grains humides. Quant aux grains secs, l'après-floraison est marquée par une régression des courbes en général, à l'exception de la courbe de la fraction N alcoolo-soluble qui n'a pas varié.

Il a été constaté, d'autre part, que les aminoacides qui se trouvent dans la zéine en proportion notable — telle la leucine — n'ont aucun pouvoir limitant sur la croissance animale, contrairement à la lysine et au tryptophane qui, par contre, s'y rencontrent en faible quantité. D'après les chercheurs [30], la concentration de ces deux acides aminés serait en rapport avec la plus ou moins grande teneur des grains mûrs en fraction N alcali-soluble dont la courbe subit une montée au 16e jour, c'est-à-dire après la floraison, comme nous l'avons déjà signalé.

Dans un autre ordre d'idées, Bressani et une équipe de collaborateurs [31] ont publié, en 1962, une étude sur la valeur nutritionnelle des Maïs d'Amérique Centrale. Ils ont observé que, la valine mise à part, les différences significatives constatées d'une localité à l'autre sont exclusivement liées aux concentrations en aminoacides, l'isoleucine notamment. Ils ont constaté également que les différences entre les variétés maïsicoles d'une même localité portent surtout sur le tryptophane et la lysine, aminoacides à pouvoir limitant.

Mais, comme nous l'avons déjà précisé, l'un des points de départ de nos recherches — outre les travaux de Busson [36-37] — a été la publication, en 1965, de Mertz & ses Coll. [128-129] sur la croissance des Rats nourris au Maïs Opaque-2, une variété nouvelle, très riche en lysine, créée génétiquement à partir d'un Maïs commun et d'un mutant spécifique. L'importance de cette découverte mérite que nous nous attardions quelque peu aux différentes étapes de ces recherches qui ont contribué à donner un regain d'actualité aux problèmes de la valeur nutritionnelle du Maïs. En 1964, les auteurs [128-129] ont observé que, sous l'influence d'un gène mutant Opaque-2, il devenait possible de modifier de façon remarquable la composition protéique de l'endosperme du Maïs ; ce qui rejoint le point de vue de Louis Blaringhem [24] qui, en 1907, montrait que le Maïs, « plante étrange », donne naissance à des mutations importantes, et aussi celui de Sprague & Tavcar [173] qui admettent dans l'endosperme l'existence de certains gènes conditionnant la synthèse de métabolites et de substances de réserve.

Or, en 1964, une récolte appréciable de Maïs Opaque-2 permit d'entreprendre sur les Rats des tests de croissance en série. Pour l'un de ces tests, l'analyse de la variété améliorée a donné un taux d'azote de 1,69 p.100.

Les auteurs [128-129] notent, d'une part, que le fait que ces variétés de Maïs améliorées aient été obtenues uniquement par autofécondation exclut l'intervention accidentelle d'un pollen étranger, et que, de l'autre, le mutant Opaque-2 est un gène récessif. Par conséquent, en l'absence du caractère allélomorphe ou dominant, le mutant spécifique utilisé a pu pleinement se manifester.

Parallèlement, le Maïs commun ou Indiana 453 a donné une teneur en azote total de 1,68 p. 100. Comme pour l'Opaque-2, l'analyse a été effectuée sur des grains dégraissés et finement pulvérisés. Dans les conditions expérimentales ainsi précisées, le Maïs amélioré a révélé un taux de lysine de 4,7 p. 100, le Maïs Indiana, hybride standard de départ, n'en contenait que 2,8 p. 100. Il devenait alors intéressant de tester sur des Rats le Maïs enrichi ainsi obtenu. C'est ce que firent les auteurs [128-129] en utilisant des Rats de souches Wistar, répartis par lots de 6 animaux à peine sevrés, d'un poids de 40 à 57 grammes, tenus dans des cages individuelles et nourris selon un processus comportant quatre régimes déterminés, à savoir :

• *Régime A.* — 90 % de Maïs Opaque-2, huile de germe de Maïs, mélange de sels, mixture plurivitaminée ;

• *Régime B.* — Différent de A par remplacement du Maïs Opaque-2 par Indiana 453 ;

• *Régime C.* — Caséine, amidon, huile de germe de Maïs, mélange de sels, mixture plurivitaminée ;

• *Régime D.* — Identique à C, mais moins la caséine, plus farine de Soja.

Les régimes A et B, auxquels est ajouté 1 p. 100 d'un oxyde métallique, ont donné des coefficients de digestibilité très intéressants :

— 80, 83, 86 et 87 % pour le régime A ;

— 84, 84, 87 et 87 % pour le régime B.

Il en découle que l'Opaque-2 est moins facilement digestible que l'Indiana 453. Cependant, au bout d'un mois d'expérience, les auteurs ont observé que le régime A, malgré ses coefficients de digestibilité peu satisfaisants, est beaucoup plus nourrissant que le régime B, soit 3,5 à 3,6 fois plus. En effet, l'augmentation de poids avec Opaque-2 était de 95 grammes, alors qu'il était de 27 grammes avec Indiana 453, le tout en 28 jours. Cette plus grande efficacité du Maïs Opaque-2 constatée chez les animaux réactifs est la preuve de sa richesse en amino-acides de haute qualité, la lysine en particulier.

Tout récemment, Bressani [29] a publié les conclusions d'une étude sur la valeur nutritionnelle de quelques types de Maïs Opaque-2, testée sur des Rats et sur des enfants. Chez ces derniers, dont une partie était nourrie au lait écrémé et une autre partie au Maïs Opaque-2 (administré sous la forme de masa ou de tortilla), l'auteur a constaté que la valeur nutritive du Maïs Opaque-2 représente environ 90 % de la valeur nutritive du lait écrémé. Bressani [29] conclut que l'intromission du gène Opaque-2 dans la structure interne du Maïs est un moyen pratique d'amélioration variétale, et par conséquent d'apport de protéines de haute qualité dans les alimentations humaines à base de Maïs. Par ce processus il est possible, spécifie l'auteur, de résoudre les problèmes de déficience protéique chez les populations carencées. Après un excellent travail d'expérimentation effectué avec le Maïs Opaque-2 sur adultes et scolaires, Helen E. Clark [96] parvient à la même conclusion que Bressani [29].

En 1966, Edwin T. Mertz, de la Purdue University, conclut — après un travail effectué sur des Rats — qu'un régime à base d'Opaque-2, à 15 % de « hautes protéines », a la même valeur nutritive qu'un lait supplémenté en caséine et cystine. L'auteur spécifie, en outre que, si ce régime est préparé avec des grains d'Opaque-2 délipidés, la valeur nutritionnelle ne change pas, mais les animaux réactifs présentent un comportement normal, perdant ainsi la nervosité que provoquait chez eux ce même régime lorsqu'il était à base d'Opaque-2 non délipidé [131].

A part un important travail sur la zéine et ses applications industrielles [137], Mosse avec ses Coll. [138] entreprit une étude sur les Maïs améliorés américains, Opaque-2 et Farineux-2, qui lui furent fournis par Mertz et Nelson, de la Purdue University. C'est la preuve que la grande découverte américaine de 1965 [128-129] eut un écho réel en France, en 1966, avant nos propres recherches. Mais l'intérêt, ici, est que nos recherches sont essentiellement axées sur l'inventaire biochimique des Maïs africains, ce qui confère à notre travail l'originalité qu'il mérite.

Les travaux des chercheurs français [138] ont porté sur l'étude des deux Maïs mutants précités et de deux Maïs normaux I.N.RA 260. Après mouture et délipidation acétonique glaciale à — 10° C, les caryopses sont soumis à des extractions variées, pratiquées successivement au moyen d'une solution de NaCl 0,5 M, d'eau distillée, puis d'éthanol à 70°. Les proportions d'azote non protéique évaluées ont été comparées aux taux des fractions protéiques d'Osborne [147] : albumines, globulines, zéines, glutélines. Les compositions en acides aminés des quatre variétés de Maïs étudiées ont été obtenues par la méthode de Moore & Stein [136].

Suivant leurs propres termes, les auteurs [138] constatent « que des mutations ayant pour effet de changer la composition en acides aminés du grain n'agissent pratiquement pas sur celle des fractions protéiques, mais modifient considérablement les proportions mutuelles de ces fractions ». Ils concluent que, pour les deux échantillons mutants examinés, leurs résultats concordent avec ceux des chercheurs américains [128-129]. Les endospermes des grains Opaque-2 et Farineux-2, comparés à ceux des deux Maïs I.N.R.A 260, contiennent moins de proline, sérine, tyrosine, mais par contre, plus de lysine, arginine, acide aspartique ou asparagine. Toutefois, Farineux-2 renferme moins de lysine (3 p. 100) que l'Opaque-2 qui en contient 3,7 p. 100, d'après les résultats français. Or, les Américains avaient publié des résultats de l'ordre de 4,7 p. 100 (lysine), en 1965.

Nous constatons là un net désaccord entre ces deux catégories de résultats numériques. Où réside donc la vérité ?

Mises à part les erreurs d'expérience, le décalage que nous constatons ne peut être attribué, à notre avis, qu'à la nature des échantillons eux-mêmes, dont on ne peut tirer des conclusions valables qu'après en avoir analysé un grand nombre.

Une autre équipe de chercheurs français, sous la direction de Mosse [139], est parvenue, par chromatographie sur Sephadex, à séparer les protéines en cinq fractions grâce à leurs différences de mobilité électrophorétique, à savoir pour la lysine par exemple :

		Fractions			
Ac. aminés	Alb. totales	C	D	A+B+E	Gl. tot.
Lysine	55,5	51,5	45,5	77,5	48,5

Ces données intéressantes, extraites du tableau I de la publication des auteurs [139], représentent les taux de lysine, exprimés en nombre de résidus pour 1000, des albumines totales, de leurs diverses fractions A, B, C, D, E, et des globulines totales.

Il ressort que les albumines totales du Maïs sont plus riches en lysine que les globulines totales. En outre, elles contiennent dans l'ensemble plus de lysine que chacune des fractions protéiques mentionnées, prises individuellement.

A la suite de Mosse [137], Jacques Landry, en 1965, puis avec Marc Sallantin, en 1966, a publié, à propos de la zéine :

1° un travail de fractionnement par chromatographie sur Séphadex [116] ;

2° une électrophorèse sur gel d'amidon [117], et révélé, dans l'ordre, pour le premier et le second cas, la présence de 8 et 13 composants dans la zéine, l'allure des courbes dépendant de la préparation de la substance étudiée.

D'autres chercheurs français [38] ont étudié par la méthode chromatographique de Moore & Stein [136] plusieurs céréales dont 16 variétés de Maïs français. Parmi ces dernières, trois se sont révélées analytiquement comparables. Les treize autres présentent pour la plupart une différence de 10 % entre les valeurs extrêmes des aminoacides, à l'exception de l'échantillon n° 12 qui s'est montré plus riche en lysine. En effet, sa teneur en aminoacide est de 3,4 p. 100 contre 2,44 à 2,9 pour les autres échantillons, sans qu'il ait subi pour autant un quelconque traitement en vue de son amélioration génotypique.

D'autre part, les chercheurs ont constaté que l'influence des facteurs culturaux et climatiques n'a été appréciable que sur la seule variété Wf 9 ae x 0h 7Aae. Ils observent, en outre, que l'excès de la fertilisation azotée tardive a provoqué une régression de la concentration en lysine chez la plupart des céréales étudiées, excepté le Maïs n° 12 dont la composition protéique est restée inchangée.

Constatons ici que, chez des plantes à tubercules, comme la Pomme de terre, c'est l'inverse qui se produit [170].

Sur le plan de la physiologie végétale, la thèse de Messian [132] précise que, chez le Maïs, la formation des inflorescences bisexuées paraît expérimentalement due plutôt à l'action des mutants « tassel seed » qu'à celle du bacille du charbon que maints chercheurs rendaient responsable de l'induction de ces inflorescences. L'auteur [132] a, d'autre part, souligné l'influence favorisante des antiauxines (coumarine, hydrazide maléique) sur le tallage du Maïs hybride précoce W2 55, de même que sa stimulation par l'acide triiodobenzoïque, autre antiauxine. Il a également étudié l'élongation chez les Maïs nains en utilisant l'action de la gibberelline, et mis en évidence à cette occasion divers aspects du photopériodisme.

La thèse de Routchenko [162] sur le « Diagnostic biodynamique de la nutrition minérale du Maïs » complète judicieusement les travaux de Messian [132] sur la physiologie de la plante, en ce sens qu'elle apporte les données chimiques qui lui manquaient. C'est une étude analytique effectuée à partir du suc de Maïs et comportant les dosages quantitatifs de divers éléments nécessaires à la vie de la plante, à savoir : azote, potassium, phosphore, sodium, calcium, magnésium, ion sulfurique, ion chlore...

L'auteur [162] a conclu que la composition du Maïs (plante) est susceptible de variation suivant les stades d'évolution et suivant les facteurs écologiques. Il fait ressortir, en outre que, dans les conditions culturales normales, les teneurs en divers éléments chimiques étudiés augmentent, puis subissent une plus ou moins brusque régression, à l'exception de l'ion chlore qui s'accumule pendant toute la vie de la plante, n'étant pas utilisé par elle.

En considérant la fertilité du sol en vue de la culture du Maïs, nous avons noté qu'en Roumanie, il faut, d'après Staitu & Bratu [175], 600 kilos de nitrate d'ammonium et 300 kilos au moins de superphosphate par hectare de terrain pour avoir des Maïs à teneurs en protéines convenables. D'autres chercheurs roumains [61] ont étudié « la justification théorique de l'utilisation des potentiels (logarithmes négatifs) de l'activité physique et chimique des ions et des substances nutritives pour la caractérisation de l'état de fertilité du sol ». Ils recommandent l'application de l'expression PK 1/2 (Ca + Mg) pour calculer le « potentiel de la structure des bases échangeables ». Dans la suite de leurs recherches, ils ont illustré par des données numériques ces potentiels d'activité pour étudier les modifications des terrains sous l'action du chaulage et de la fertilisation [62]. Dans un travail récent, Davidescu & Coll. [63] ont vérifié leurs données théoriques sur les potentiels d'activité à partir des essais de culture de Maïs aux champs, et d'Avoine en pots, cultivés sur de la terre brune podzolisée d'Albota. Nous ne considérons ici que le cas du Maïs ; ainsi donc, sous l'apport de la fumure, la teneur en aminoacides totaux a été, pour le Maïs témoin non fertilisé, de 87,7 mg/gramme de matière sèche, de 90,83 mg/gramme de matière sèche pour $N_{100}P_{100}$, de 103,22 mg/gramme de matière sèche pour $N_{200}P_{200}$, et de 97,81 mg/gramme pour $N_{300}P_{300}$. Avec un apport simultané

de trois éléments (NPK), on constate également l'augmentation de la somme des acides aminés. Il semble cependant que c'est avec $N_{300}P_{300}K_{200}$ que les auteurs [63] aient eu les meilleurs résultats puisqu'ils ont obtenu, du point de vue de la concentration en acides aminés totaux, 166,57 mg/gramme de matière sèche, au lieu de 134,28 et 104,03 mg pour $N_{200}P_{200}K_{150}$, $N_{100}P_{100}K_{100}$, respectivement.

En effet, le tableau X des résultats publiés [63] par les auteurs montre que c'est avec $N_{300}P_{300}K_{200}$ qu'il a été possible d'obtenir une meilleure concentration de 12,34 en histidine + lysine, chiffre qui nous paraît quelque peu excessif. Mais il n'est pas contestable que l'application de $N_{300}P_{300}K_{200}$ à des sols de Roumanie ait pu entraîner leur amélioration du point de vue de la fertilité et conséquemment celle des Maïs qui y sont cultivés.

Quant aux Maïs africains, si l'on excepte l'ouvrage de Busson [36-37], que nous avons déjà rappelé, ils n'ont fait, à parler franc, que l'objet des travaux en majorité économiques. Outre les enquêtes agronomiques de Portères [155], deux récents ouvrages ont révélé la cartographie des Maïs d'Afrique Noire : c'est celui de Jacques M. May [127] et celui de Marvin P. Miracle [134].

Dans ses recherches, Jeffreys [101-102] ne s'est pas préoccupé de la connaissance biochimique du Maïs ; c'est l'histoire exacte de son introduction en Afrique qui l'intéressait. Seuls, les travaux de Busson [36-37] sur les « Plantes alimentaires de l'Ouest Africain », donnent une idée de la composition protéique de cette céréale dans sa généralité. L'auteur évalue à 3,1 p. 100 la teneur en lysine de ses protéines, ce qui surpasse de loin le taux de 2 p. 100 qu'on lui a souvent attribué. Or, ces Maïs n'ont subi, semble-t-il, aucun traitement spécial. Remarquons toutefois que les variétés maïsicoles n'ont pas été

décrites individuellement dans le monumental ouvrage de Busson [37]. Il n'empêche que c'est un travail d'une tres grande portée, livrant à notre connaissance de l'Afrique plus de 150 espèces de nos plantes alimentaires.

Il s'ensuit donc que les variétés de Maïs africaines ne sont pas assez biochimiquement connues par rapport à leurs congénères américaines, indiennes et européennes, comme nous venons de le montrer.

La preuve en est que, depuis les travaux de Mertz & ses Coll. [128-129], publiés en 1965, il y eut une recrudescence de recherches sur les Maïs européens et d'autres, à en croire les innombrables références que nous avons répertoriées en sus dans la partie bibliographique de notre ouvrage. Il ne nous a pas été possible de les analyser en détail par suite de leur multiplicité, et du fait qu'aucune d'elles n'est en rapport direct avec les Maïs africains ; ce qui valorise d'autant nos résultats dont l'intérêt réside dans le fait qu'ils apportent à l'ensemble des travaux antérieurement effectués sur le Maïs un précieux complément d'informations scientifiques que représente la connaissance biochimique d'un grand nombre de races de Maïs africains dont on ignorait jusqu'à présent la composition protéique.

Le « Planning » de la Division de nutrition de la F.A.O., n° 9, p. 2 [75], ne mentionne pas les concentrations en lysine des nouvelles variétés créées aux Etats-Unis [128-129]. Or, avec leurs fortes teneurs en acides aminés indispensables, elles sont pleines de promesse pour la sélection végétale et l'alimentation de l'homme.

Les données que nous livrons dans le présent travail, après l'étude de 80 échantillons d'individus, peuvent servir de critères intéressants pour orienter l'amélio-

ration biochimique des variétés cultivées et pour sérier du point de vue économique les Maïs africains en trois grandes catégories : les variétés à hautes teneurs en protéines, les variétés à moyennes teneurs et, enfin, les variétés pauvres qui ne seront pas rejetées pour autant, mais destinées aux usages industriels.

Nous n'avons pas la prétention d'avoir fait une étude exhaustive des Maïs africains. Nous pensons simplement avoir révélé des critères d'un intérêt analytique certain, ainsi que le montrent les chapitres qui vont suivre dans la quatrième partie de ce travail.

Avant de présenter nos résultats et les interprétations qui en découlent, il nous a paru important de fixer la systématique suivie, en précisant les méthodes d'analyse utilisées telles quelles, ou après des modifications que nous avons jugées nécessaires.

Quatrième partie

TRAVAUX PERSONNELS

Cette partie comprend les techniques de détermination d'azote total que nous avons utilisées, la préparation des hydrolysats de Maïs, le dosage de la lysine par une méthode chimique, le dosage de tous les acides aminés contenus dans les échantillons examinés par le procédé chromatographique autoanalytique de Moore & Stein [136].

Ces manipulations constituent ce que nous appelons « Opérations Fondamentales » dans la suite de cet exposé. Bien entendu, elles sont précédées d'un certain nombre de manipulations primaires auxquelles nous avons donné le nom d'« Opérations Préliminaires ». Ces dernières comportent le comptage des caryopses, la détermination de leur taux d'humidité, de même que le mode de pulvérisation qui nous a permis de les réduire en des poudres parfaitement homogènes.

CHAPITRE VIII

OPERATIONS PRELIMINAIRES

Si la valeur nutritionnelle des céréales est en rapport avec la quantité des protéines qu'elles contiennent, elle dépend plus particulièrement de la proportion et de la qualité des aminoacides entrant dans leur composition. C'est sur cette composition protéique que doit être fondée l'appréciation des grains comestibles et leur différenciation. Les acides aminés sont les facteurs essentiels de l'efficacité d'un aliment et d'un régime. L'homme étant incapable de synthétiser un nombre important d'aminoacides, c'est dans son alimentation qu'il doit nécessairement les trouver en quantité suffisante pour que ses besoins soient satisfaits de même que l'équilibre métabolique de son organisme. Il importe donc de bien connaître les nutriments protéiques qu'il introduit dans son alimentation, surtout lorsqu'il vit dans les contrées où le régime est plus végétarien que carné.

Les races humaines ou animales consommant davantage de lait, d'œuf, de poisson, viande, Soja, Vigna, levure de bière, paraissent généralement en meilleure condition physique que celles qui vivent uniquement de plantes et de produits de cueillette.

Outre les diverses solutions artificielles apportées par les supplémentations, il semble plus logique d'envisager l'amélioration de l'espèce sur le plan génétique même. Les chercheurs américains y sont parvenus. Ils peuvent désormais proposer aux problèmes de la sous-nutrition

protéique une nouvelle variété de Maïs, le Maïs Opaque-2, capable d'apporter aujourd'hui à l'individu un taux surprenant de lysine, soit 4,7 p. 100. Ce qui semble n'avoir jamais été vu jusqu'à présent. Ils ont réussi à déterminer cette teneur grâce à la méthode classique de bilan ou de croissance pondérale appliquée aux Rats [129], ensuite, plus tard, aux enfants, avec Bressani [29] et Helen E. Clark [96].

Quant à nous, pour remonter à la concentration en aminoacides des matériaux que nous avons étudiés, nous avons eu recours à un ensemble de techniques chimiques et chromatographiques comprenant entre autres une minéralisation par Kjeldahlisation.

Cette minéralisation, comme nous le verrons, s'effectue par l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur. La substance organique détruite par l'oxydation de ses atomes de carbone et d'hydrogène se comporte en même temps comme un réducteur vis-à-vis de l'azote. Cet azote est converti en ammoniac isolable et titrable ensuite par acidimétrie, ou dosable directement par colorimétrie. C'est ce dernier procédé que nous avons le plus souvent pratiqué.

Nous obtenons ainsi les taux de N total p. 100 des substances analysées, puis leur teneur en protéines en multipliant le résultat précédent par le coefficient usuel 6,25.

L'anabolisme de la matière vivante débute par l'azote, son catabolisme aboutit à l'azote. L'azote est donc à la fois le terme premier et le terme ultime de la vie. C'est un support matériel omniprésent dans les mécanismes de biogénèse et de catagénèse animale et végétale.

La minéralisation, que nous considérons comme une opération fondamentale, de même que le dosage de N total, doit être nécessairement précédée par quelques opérations préliminaires devenues tellement classiques qu'on oublie d'en faire cas dans les communications et les publications scientifiques. Or, ces opérations ne manquent pas d'intérêt, car, faute de les avoir bien effectuées, on est amené à des résultats numériques entachés d'erreur. C'est pourquoi nous leur réservons dans notre travail la place qu'elles méritent.

Ici, ces opérations préliminaires sont de trois sortes, comme nous allons le voir.

I. — COMPTAGE DES GRAINS DE MAIS

Le comptage des caryopses est rendu pratique par l'emploi d'une planche en contreplaqué carrée, à manche court, portant sur l'une de ses deux faces 100 matrices. En plaçant dans chacune de celles-ci un caryopse, on a en fin de compte 100 grains de Maïs, ce qui correspond à un prélèvement convenable pour la détermination du taux d'humidité qu'il faut rapporter à 100 grammes de matière.

II. — TAUX D'HUMIDITE

Nous avons utilisé des capsules d'aluminium (50×30 mm) portant chacune un numéro gravé d'origine éliminant d'éventuelles erreurs qui auraient pu avoir lieu soit par effacement accidentel, soit par décomposition, sous l'action de la chaleur interne de l'étuve, de la matière dont on se serait servi extemporanément pour les marquer. Les « poids humide » et « poids sec » de 100 caryopses

sont déterminés à une balance monoplateau avant et après dessiccation à 105° C pendant 24 h dans une étuve électrique type Chopin.

De la différence de poids obtenue, nous remontons au taux d'humidité de 100 grammes de grains.

III. — PULVERISATION

Elle est effectuée dans un moulin électrique. L'homogénéisation de la farine de Maïs résultant de l'opération est assurée par l'emploi d'un tamis ouverture 0,400.

Opérations Fondamentales

Ces Opérations Fondamentales comportent la détermination de l'azote total et des protéines, la préparation des hydrolysats de Maïs, le dosage de la lysine seule par une méthode chimique, la séparation par chromatographie autoanalytique quantitative des aminoacides contenus dans les matériaux examinés, le calcul des résultats numériques qui en découlent et que nous avons groupés dans différents tableaux, l'interprétation de ces résultats, et enfin une étude expérimentale d'un mode de conservation des grains.

Ces Opérations Fondamentales sont ensuite suivies d'une conclusion générale.

CHAPITRE IX

DOSAGE DE L'AZOTE TOTAL PAR COLORIMETRIE OU NESSLERISATION

Cette opération comprend une série de manipulations se rapportant à la minéralisation et au dosage proprement dit.

I. — MINERALISATION

Elle est faite par kjeldahlisation, durant une heure et demie à deux heures, de 500 mg de Maïs sec pulvérisé additionné de 7,5 g de K_2SO_4 cristallisé, 10 ml de H_2SO_4 concentré, quelques billes de verre. L'opération est pratiquée dans des matras de verre que l'on met à chauffer à ébullition par séries de 6 sur une rampe de gaz, le tout disposé sous une hotte pourvue d'un ventilateur d'aspiration.

7,5 g de K_2SO_4 représentent une quantité appropriée que nous avons déterminée expérimentalement pour un volume de 10 ml de H_2SO_4 concentré. D'autre part, le sulfate de potassium employé comme catalyseur permet d'obtenir un minéralisat incolore et limpide. En effet, une quelconque interférence colorée doit être évitée, étant donné que nous dosons NH_4^+ du milieu réactionnel par colorimétrie, d'où élimination de tous catalyseurs à base de cuivre, mercure, sélénium.

Routchenko [162], confronté avec un problème du même ordre, a utilisé H_2SO_4 et H_2O_2 pour minéraliser du suc de Maïs suivant un protocole opératoire que nous jugeons fastidieux, mais qui semble avoir donné entière satisfaction à l'auteur.

Remarque :

Il nous est arrivé souventes fois de vérifier nos résultats d'azote total par la méthode acidimétrique officielle [133], ce qui nous a permis de constater que les différences observées sont négligeables.

II. — NESSLERISATION (dosage colorimétrique).

Elle est effectuée suivant le procédé de Chetchetinina & Boutenko [47], appliqué par Routchenko [162] et découlant d'une technique mise au point par Yuen & Polard [188].

1° Principe du dosage.

L'ion NH_4^+ réagit en milieu alcalin avec le mercuriiodure de potassium en donnant un complexe colloïdal de couleur jaune orangé. Nous avons interprété la réaction de formation de l'iodure de mercuriamine obtenu par l'équation chimique suivante :

$$NH_4^+ + 2HgI_2, 2KI + 2KOH = NH_2Hg_2I_3 + 5KI + K^+ + 2H_2O$$

Pour assurer une bonne stabilité au complexe mercuriaminé, nous l'avons placé dans des limites de *p*H convenables : 12,9 et 13,2. Nous évitons ainsi sa dissociation qui, sans ces conditions de *p*H bien déterminées, aurait

pu avoir lieu, soit par précipitation en présence d'un excès d'ammoniac apporté par le matériau analysé, ou soit par floculation. D'ailleurs, cette dernière éventualité est considérablement retardée par l'adjonction d'une solution de gomme arabique au milieu réactionnel.

D'autre part, à cause de la forte alcalinité du milieu, les alcalino-terreux sont susceptibles de précipiter en entraînant la rupture du complexe, ce à quoi nous remédions en ajoutant — pour « tamponner » — une solution alcaline de citrate de sodium.

2° Préparation des réactifs.

a) *Solution alcaline de citrate de sodium :*

Citrate de sodium ..... 80 g
Soude en pastilles ..... 26 g
Eau distillée ..... q.s.p. 1 000 ml

b) *Solution de gomme arabique* à 5 p. 100.

On prépare cette solution en mélangeant par petites quantités 10 g de poudre de gomme à 100 ml d'eau distillée tiède contenue dans un Erlenmeyer de capacité convenable. On agite énergiquement jusqu'à dissolution des grumeaux, sinon on chauffe à feu doux pour parfaire l'opération, puis on transvase dans une fiole jaugée de 200, ensuite on complète au trait de jauge avec les eaux de lavage. Ainsi préparée, cette pseudosolution n'a pas besoin d'être filtrée sur Dowex 50, comme l'avait fait Routchenko [163].

Les réactifs I et II doivent être mélangés extemporanément dans le rapport de 20 à 3 pour constituer la « Solution de citrate sodique-gomme arabique 20/3 »

servant à tamponner le milieu réactionnel et empêcher de ce fait la précipitation éventuelle des alcalino-terreux, ainsi que nous l'avons déjà précisé.

c) *Nessler A :*

Iodure mercurique ..... 45,5 g
Iodure de potassium ..... 36,5 g
Eau distillée ..... q.s.p. 1 000 ml

Nessler B :

Potasse pastilles ..... 112 g
Eau distillée ..... q.s.p. 1 000 ml

Au moment du besoin, ces solutions A et B doivent être mélangées à parties égales.

d) *Solution de sulfate d'ammonium* (sol. de référence).

On la prépare en dissolvant 4,716 g de sulfate d'ammonium R.P. dans une petite quantité d'eau distillée placée dans une fiole d'un litre et on complète au trait. On obtient ainsi une solution aqueuse titrant 1 gramme de N (NH_4^+) par litre. C'est la solution mère.

Pour avoir la solution de référence que Routchenko appelle la « Solution de travail », il suffit de diluer la solution précédente au 100e. Dans ces conditions, elle contient 100 microgrammes de N (NH_4^+)/ml.

3° Dosage colorimétrique ou nesslérisation.

a) *Gamme-étalon.*

Dans 5 tubes rodés, calibrés à 20 ml, bouchant à l'émeri, nous introduisons :

— 0, 0,5, 1, 1,5, 2 ml de solution de N (NH_4^+) à 10 microgrammes/ml ;

— 10 ml de solution de citrate sodique-gomme arabique 20/3 ;

— 1 ml de réactif de Nessler, mélange extemporané de A et B.

On complète chaque tube au trait de calibrage avec de l'eau distillée et, après l'avoir bouché, on agite par renversement, deux ou trois fois. On laisse pendant 20 à 25 mn se développer la coloration jaune orangé de l'iodure mercuriaminé formé.

Dans cet intervalle, l'intensité de cette coloration paraît suivre la loi de Beer-Lambert en restant proportionnelle au temps. Il est par conséquent nécessaire de comparer simultanément les dilutions gamme-étalon et essais correspondants.

b) *Dosage de la substance étudiée.*

Suivant la richesse du matériau examiné, on part de 0,5 ml ou de 2,5 ml de la dilution du minéralisat obtenue après l'avoir ramenée à une concentration telle qu'elle n'ait pas besoin d'être neutralisée avant dosage. Dans ces conditions, les essais comme les tubes de référence présentent un *p*H compris entre 12,9 et 13,2, qui confère une stabilité maximale au complexe de Nessler.

c) *Mesure.*

1° Azote total.

C'est à $\lambda = 436$ nm que nous lisons à l'électrophotomètre de Meunier la coloration des tubes-étalon et des tubes-essai correspondants.

Nous calculons la teneur en azote ammoniacal des échantillons étudiés en rapportant toutefois à 100 g de matière sèche.

La sensibilité de la méthode est de 0,25 microgramme/ml.

2° Protéines.

Dans les mêmes conditions expérimentales, la proportion de protéines contenue dans 100 g de matière sèche est donnée par la formule habituellement appliquée aux protides $Nt_{100} \times 6{,}25$.

CHAPITRE X

PREPARATION DES HYDROLYSATS EN VUE DU DOSAGE DES ACIDES AMINES

L'hydrolyse de la liaison peptidique a fait l'objet de nombreux travaux de recherche (Sanger, Desnuelle, etc.).

On utilise les acides forts, notamment les acides sulfurique, chlorhydrique, les mélanges d'acides comme le mélange chlorhydro-formique. Aux Etats-Unis, on fait appel à des acides à grosses molécules, par exemple l'acide polyvinylsulfonique, dont la synthèse remonte à 1954.

Mais l'agent hydrolysant le plus employé est l'acide chlorhydrique 6n que nous avons adopté pour la préparation de nos hydrolysats protéiques. Cet acide étant azéotrope peut être facilement éliminé par évaporation. Ce faisant, nous utilisons un évaporateur rotatif. Il ne faut pas cependant que l'opération excède 3 h, sinon l'histidine a tendance à s'altérer, même si la température d'évaporation était maintenue à 45° C, température qu'il ne faut pas trop dépasser pour ne pas voir se détruire les aminoacides basiques, la lysine en particulier.

D'autre part, l'agent hydrolysant doit être utilisé à l'état pur ; par conséquent, on peut être amené à redistiller l'acide chlorhydrique parce que les impuretés (fer, cuivre...) qu'il contient parfois sont souvent une cause de destruction de certains acides aminés.

Il faut également noter que, dans la réaction d'hydrolyse peptidique, les aminoacides ne s'accommodent pas toujours de la présence des glucides réducteurs qui les altèrent en partie, à moins d'opérer, ainsi que nous venons de le préciser, avec un agent hydrolysant très pur. Dans ces conditions, la réaction de MAILLARD [121] est sensiblement atténuée. Certains auteurs soutiennent que la formation des humines est plus marquée lorsqu'on opère avec un volume réduit de HCl 6n. SCHRAM & ses Coll. [167] recommandent d'en utiliser 150 ml, mais l'emploi de 100 ml nous a donné entière satisfaction. En effet, les résultats que nous avons trouvés par exemple pour la lysine par un procédé chimique dérivé de la méthode de TURBA & KOFRANYI [180] soutiennent la comparaison avec ceux qui nous sont fournis par la technique chromatographique autoanalytique [136].

Nous avons cherché à déterminer le temps d'hydrolyse. Les hydrolysats de 20, 22, 24 h nous ont donné des résultats semblables Nous avons constaté, d'autre part, que si l'hydrolyse dure au-delà de 24 h, la lysine a tendance à s'altérer ; ce qui se traduit par un résultat plus faible. Cette observation nous a conduit à limiter le temps d'hydrolyse à 22 h.

Notre choix trouve d'ailleurs une justification dans le fait que M^lle^ CAMAIN [41] pratique, elle, une hydrolyse de 18 h dans les conditions où elle opérait.

Autre simplification portant cette fois sur la technique d'élimination des acides humiques. Pour les éliminer, nous filtrons à chaud nos hydrolysats, non pas sur des verres frittés mais sur un double filtre en papier sans cendres, sans plis, à l'intérieur duquel nous plaçons un petit tampon de coton de verre bien tassé. Cette modification s'inscrit naturellement dans le cadre de notre objectif visant à simplifier notre protocole de travail, de façon à le rendre facilement accessible à tous les laboratoires des pays en voie de développement, en ne perdant pas toutefois de vue l'efficacité de nos méthodes.

TECHNIQUE DE PREPARATION DES HYDROLYSATS

Dans un ballon en pyrex de 250 à col rodé, nous introduisons :

— un poids de $\frac{25 \times 100}{T}$ mg de Maïs sec pulvérisé

correspondant à 25 mg de protéine pure, T étant égal à $Nt_{100} \times 6{,}25$, d'où la nécessité de déterminer au préalable la teneur en azote total de la substance à analyser pour ensuite pouvoir calculer la prise d'essai en vue de la préparation d'hydrolysats à concentration convenable ;

— 100 ml de HCl 6n que nous laissons au début tomber goutte à goutte sur la poudre afin de la mouiller et d'éviter ainsi qu'elle ne flotte à la surface de l'agent hydrolysant. Sans cette précaution, le mélange charbonnerait à sa partie superficielle. Il en résulterait des pertes en aminoacides.

L'hydrolyse est effectuée sous réfrigérant ascendant durant 22 h à 130-135° C dans un bain d'huile de paraffine permettant de préparer 6 hydrolysats à la fois.

Chaque hydrolysat est filtré à chaud pour en éliminer les acides humiques, puis transvasé avec soin dans un évaporateur rotatif type Brewer-Houlier où il sera débarrassé de HCl à une température ne dépassant pas 45° C.

L'opération est terminée lorsqu'il ne reste plus dans le ballon de l'évaporateur que 2 à 3 ml d'un liquide de consistance sirupeuse.

L'hydrolysat ainsi concentré est recueilli quantitativement dans une fiole de 10 ml et complété au trait de jauge avec du tampon $p\mathrm{H} = 2{,}2$. Cette dilution est appelée « le contenu H.M. » dans la suite de cet exposé.

CHAPITRE XI

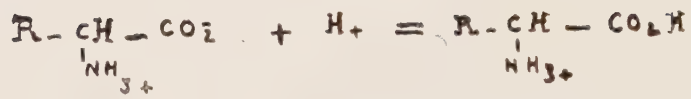
CONSIDERATIONS THEORIQUES SUR LE COMPORTEMENT DES AMINOACIDES EN SOLUTION HYDROCHLORHYDRIQUE

Il suffit d'ouvrir n'importe quel manuel d'enseignement de la chimie biologique pour avoir la définition exacte et les propriétés acido-basiques des acides aminés.

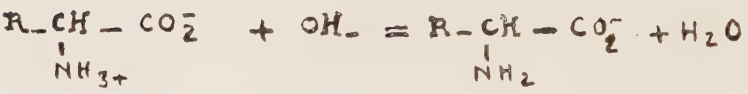
Deux raisons nous ont amené à faire appel à ces propriétés acido-basiques. La première se justifie par le fait que nos dosages d'aminoacides s'effectuent en milieu acide. Mieux que l'alcalinité, l'acidité conserve les acides aminés, encore qu'il ne s'agit là que d'une conservation limitée puisque, même à *p*H acide, les monopeptides s'altèrent assez rapidement par vieillissement ou par élévation de température. La seconde est que certains aminoacides, la lysine en tête, ne peuvent être chimiquement dosés avec efficience qu'à des *p*H bien déterminés. D'où la connaissance parfaite du comportement des acides aminés en solution où ils se trouvent la plupart du temps sous forme d'ions.

Un aminoacide est caractérisé par la présence dans sa formule d'un carboxyle et d'un groupement aminé en position α par rapport au carboxyle. Suivant le *p*H, il présente deux fonctions duplicatives résultant d'un phénomène d'amphotérisation. Il peut donc être considéré comme un amphotère, sa dissociation révélant des particularités intéressantes selon qu'il est en milieu acide ou en milieu alcalin.

1° En milieu acide :

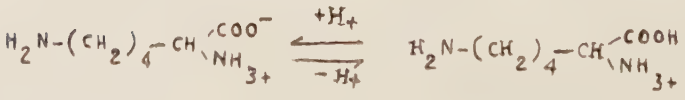


2° En milieu alcalin :

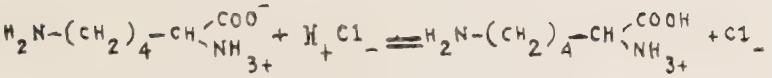


Puisque nous opérons en milieu très acide (hydrolysats protéiques préparés avec HCl 6n), nous avons essayé d'expliquer sommairement ce que serait la réactivité de la lysine en solution, ceci à titre d'exemple. C'est d'autant plus opportun que, dans un premier temps, nous avons dosé cet aminoacide par complexation en utilisant la réaction de Turba & Kofranyi [180] permettant d'obtenir un complexe gris verdâtre benzylidène-lysine-cuivre. Notons toutefois que la fonction distale $-NH_2$ en position ε de la base hexonique qu'est la lysine n'est pas concernée par notre explication. Celle-ci porte seulement sur le comportement des groupes carboxyle et α aminé.

3° En milieu neutre :



4° En milieu chlorhydrique :



La réaction d'équilibre (3) est compatible avec un milieu neutre, $p\mathrm{H} = 7$. Mais étant donné que l'hydrolyse de nos échantillons de Maïs s'effectue en milieu fortement acide, l'équation de la précédente réaction devrait être orientée vers la droite (équation 4). C'est donc sous la forme de chlorhydrate que se trouve la lysine dans nos hydrolysats. Cette explication nous paraît également valable pour les autres acides aminés du Maïs ou d'autres céréales susceptibles, dans nos conditions opératoires, d'être séparés par fractionnement chromatographique sur résine.

CHAPITRE XII

DOSAGE DE LA LYSINE PAR UNE METHODE CHIMIQUE

Nous avons déjà précisé qu'avant d'appliquer la technique chromatographique autoanalytique à l'étude des protéines du Maïs, nous avons cherché à adapter une méthode chimique au dosage de la lysine dans les hydrolysats protéiques ; et cela pour les besoins des laboratoires ne disposant encore pas d'autoanalyseurs d'aminoacides, comme c'est le cas pour la plupart des pays africains en voie de développement.

I. — HISTORIQUE

Kossel & Kutscher [115] ont publié, en 1900, un procédé de dosage de la lysine sous forme de picrate insoluble. Block & Bolling [26] ont indiqué, en 1940, une technique extrêmement minutieuse mais onéreuse en durée puisqu'elle nécessite plusieurs jours. Van Slike, Dillon, Mc Fayden & Hamilton [182] ont dosé la lysine, en 1941, sous forme de phosphotungstate insoluble. A partir de ce précipité, l'azote total est transformé en NO_2H, tandis que l'azote α aminé est déterminé par combinaison avec la ninhydrine et estimation de CO_2 provenant de la décarboxylation de l'aminoacide.

En 1946, Nelson [145], Kibrick [112], après séparation de la lysine par chromatographie sur colonne, ont fait réagir cet acide aminé une fois chloré ou bromé avec

un réactif phosphotungstomolybdique. La coloration bleue qui en résulte est mesurée par spectrophotométrie pour apprécier la concentration en lysine de la substance analysée.

En 1957, Baraud [17] a appliqué un procédé de dosage iodométrique de l'azote aminé libre à la détermination de la lysine dans les protéines solubles. Le principe de cette technique réside dans le fait qu'en milieu alcalin le sulfure de carbone donne, avec les groupes $—NH_2$ libres, un composé dithiocarbamique facilement oxydable par l'iode en milieu acide.

Au Laboratoire Municipal de Bordeaux, Dangoumau [60] a utilisé la méthode de Carpenter & Ellinger [42] pour doser la lysine digestible dans les protéines des farines animales. Le test de Carpenter comporte essentiellement :

— une épreuve de digestibilité et ses annexes ;

le dosage de la lysine qui en résulte ;

le dosage de cet aminoacide d'après Nelson, Mc Farlan & Boulet [145] et d'après Sylla [178].

En 1965, un Egyptien, Ahmed S.M. Selim [168] a publié un procédé colorimétrique de microdosage de la lysine dans les hydrolysats. Les acides aminés sont transformés en sels de cuivre, puis traités par le fluoro-I-dinitrobenzène-2, 4. Dans ces conditions, affirme l'auteur, seule la lysine donne un dérivé nitrophényl coloré mesurable grâce à la coloration du cuivre libre extraite par un mélange éthéré. Il souligne, d'autre part, la simplicité de la technique et la sobriété du matériel exigé.

Blom, Hendricks & Caris [25] ont réussi tout récemment à doser la lysine par une méthode polarographique assez complexe nécessitant la séparation chromatographique de la base hexonique et de son dérivé ε N-DPN-lysine sur Polyamide ou sur Amberlite C.G. 120.

Mais étant donné notre souci de mettre à la portée des laboratoires africains ou autres une technique de dosage de la lysine simple et pratique, nous avons fixé les modalités d'un procédé chimique en faisant appel à la méthode de Turba & Kofranyi [180].

II. — TECHNIQUE DE LA METHODE CHIMIQUE PROPOSEE

Avant toute analyse, nous ramenons à 20 ml ± 3 ml le contenu H.M. précédemment obtenu que nous ajustons nécessairement à *p*H = 8 avec de la soude plus ou moins concentrée. Nous le traitons ensuite selon le procédé de Turba & Kofranyi [180] modifié par Baraud [16-17 · sur le conseil du Professeur Louis Genevois — en remplaçant l'aldéhyde benzoïque par le p.Nitrobenzaldéhyde, plus efficient.

Protocole.

PREMIERE PHASE

1° Dans un premier temps, nous isolons la lysine par l'hydroxyde de cuivre obtenu par le mélange suivant :

Solution de sulfate de cuivre à 40 g/l..... 5 ml

— Solution de soude normale ..... 5 ml

Ce mélange est soigneusement agité, passé sur filtre sans plis, puis lavé à deux reprises avec chaque fois 10 ml d'eau distillée.

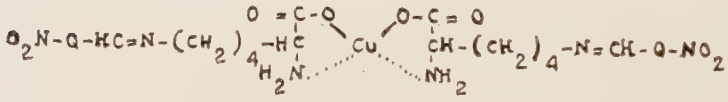
2° Dans un deuxième temps, nous procédons à la formation du complexe lysine-cuivre en utilisant :

— Solution d'extrait d'hydrolysat (lysine) ou contenu H.M. ajusté à *p*H = 8. 20 ml

— Hydroxyde de cuivre : précipité obtenu (le précipité entier permet 4 dosages) ..... 1 partie

Durée de contact : 2 heures ; agitation puis filtration.

3° Dans un troisième temps, nous procédons à l'insolubilisation du complexe précédent sous forme d'une combinaison p.Nitrobenzylidène-lysine-cuivre, à laquelle nous conférons une formulation personnelle :



p.Nitrobenzylidène-lysine-cuivre.

Nous mélangeons donc :

— Filtrat lysine-cuivre ..... 10 ml

— Solution éthanolique à 1 p. 100 de p.Nitrobenzaldéhyde ..... 10 ml

Après ajustement à *p*H = 8,8, nous abandonnons le mélange 12 h en rajustant de temps en temps, pendant la première demi-heure, son *p*H qui tend à baisser. En effet,

l'acidification du milieu est due probablement à une protonisation dont le siège ne peut être que le groupe α aminé donnant H^+ par dissociation.

Nous procédons, 12 h après, à la séparation de la combinaison formée en la recueillant par filtration sur un petit filtre sans plis, en papier sans cendre, placé dans un petit entonnoir de verre. Le bécher ayant servi pour la préparation du complexe et le petit filtre sur lequel il est recueilli sont lavés avec seulement 5 ml d'éthanol à 50° utilisé en plusieurs fois par petites portions.

DEUXIEME PHASE

1° Dans un premier temps, il faut dissocier le complexe p.Nitrobenzylidène-lysine-cuivre.

Ce faisant, nous plaçons l'entonnoir contenant le filtre à précipité sur une fiole jaugée de 20 ml. Nous rinçons le bécher précédent avec 5 ml de HCl 0,1 N en laissant tomber le liquide goutte à goutte sur les parois du bécher, tout en faisant subir à celui-ci un lent mouvement de rotation afin de dissoudre les traces du complexe. Nous versons ensuite cette solution sur la combinaison gris verdâtre recueillie sur le filtre. La dissociation du complexe ainsi amorcée est achevée par addition progressive de deux fois 5 ml de HCl 0,1 N. Le contenu de la fiole est enfin complété à 20 ml avec la même solution chlorhydrique.

2° Le contenu de la fiole renferme du cuivre à l'état libre, dissocié quantitativement à partir du précédent complexe. Il s'agit à présent de le faire réagir avec du sulfocyanate de potassium en milieu pyridiné.

Dans un petit flacon de 30 fermant à vis, nous plaçons :

— Solution chlorhydrique de cuivre (contenu de la fiole) ..... 5 ml

— Solution de sulfocyanate de K N/50 .... 5 ml

Agitons, ajoutons :

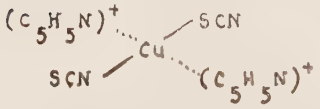
Pyridine R.P. ..... 2 ml

Agitons, ensuite ajoutons :

Chloroforme R.P. ..... 5 ml

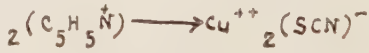
Agitons de nouveau, puis abandonnons le mélange au repos pendant au moins 1 heure.

Une complexation du cuivre par les ions sulfocyanate et pyridinium survient pour donner un composé que nous appelons sulfocyanure de cuivre-pyridinium et que nous faisons correspondre aux formules suivantes :



Formule 1

ou



Formule 2

Privé de ses ions pyridinium, le composé passe sans difficulté dans le chloroforme par agitation en lui communiquant une coloration verte, relativement stable, titrable colorimétriquement.

3° Mesure.

A l'aide d'une pipette de 10 ml à écoulement total, nous soutirons la partie chloroformique de chaque mélange. Nous l'introduisons dans chaque petit flacon de dosage contenant une pincée de sulfate de sodium anhydre et nous agitons ensuite.

Avec chacune de ces solutions chloroformiques privées d'humidité, nous remplissons la cuve de l'électrophotomètre de Meunier. La lecture est faite dans le visible à $\lambda = 436$ nm, en comparant simultanément chaque tube d'essai avec un tube correspondant de la gamme-étalon. Cette gamme de référence est préparée à partir d'une solution de $CuSO_4$ à 40 microgrammes de Cu^{++}/ml dont on prend :

0,25, 0,50, 0,75, 1, 1,25, 1,50 et 2 ml. On complète tous les tubes à 5 ml avec de l'eau distillée.

La suite de la manipulation pour chaque tube de la gamme-étalon se déroule comme pour les tubes-essai, mais seulement à partir du « stade 2 » de la deuxième phase de l'opération de dosage, ce qui correspond en fait à la réaction de Spacu modifiée par Golse [89].

Observation

Etant donné le fait que les hydrolysats de Maïs sont des milieux extrêmement dilués, nous n'avons pu obtenir des résultats quantitatifs assez reproductibles qu'en augmentant largement les durées de contact prévues dans les étapes 1 et 2 de la première phase du protocole opératoire.

1° Etape 1, temps de contact entre l'hydrolysat ajusté à pH = 8 et l'hydroxyde de cuivre fraîchement préparé : 10 mn, d'après Sylla [178].

Nous avons dû ramener ce temps de contact à 120 mn dans notre protocole, soit 2 h.

2° Etape 2, temps de contact entre le complexe lysine-cuivre et la solution éthanolique de p. Nitrobenzaldéhyde ajusté à pH = 8,8 à 8,9 : 1 heure, d'après Sylla [178].

Nous avons dû amener ce temps de contact à 12 h.

Sans ces modifications de durée de contact que nous avons jugées nécessaires à notre protocole opératoire, le dosage du cuivre quantitativement extrait par la solution chloroformique eût été déficitaire sinon impossible malgré la très grande sensibilité de la réaction de Spacu. Par voie de conséquence, l'estimation de la lysine de nos hydrolysats eût été également déficitaire. Il en résulte que son dosage par la méthode chimique proposée n'est pas toujours d'une très grande fidélité. Nous avons en effet constaté, dans un certain nombre de cas, des décalages de ± 5 à ± 10 % par rapport aux résultats qui nous ont été fournis par la technique chromatographique autoanalytique.

Il n'empêche cependant que cette méthode chimique reste, à notre avis, un procédé de tri essentiellement pratique en ce sens qu'elle est capable, à peu de frais, de permettre aux laboratoires des pays africains de sérier les Maïs riches à importance nutritionnelle des Maïs pauvres susceptibles d'être réservés à l'exploitation industrielle.

Mais le dernier mot revient incontestablement au procédé chromatographique autoanalytique. Nous le considérons comme la meilleure technique de fractionnement et de dosage des acides aminés dans les milieux biologiques, en raison des résultats importants qu'il nous a permis d'obtenir au cours de nos recherches.

Notons cependant que, par rapport à ces résultats fournis par les « autoanalyseurs d'aminoacides », une solution titrée de lysine à 0,1 g p. 100, traitée rigoureusement dans les conditions expérimentales de la technique de Turba & Kofranyi modifiée, a donné lieu à un écart de ± 5 %. Par conséquent, on peut conférer à la méthode chimique proposée une valeur analytique excellente en soi.

CHAPITRE XIII

FRACTIONNEMENT CHROMATOGRAPHIQUE DES PROTEINES EN AMINOACIDES DANS LES HYDROLYSATS DE MAIS

Pour évaluer la concentration en aminoacides de nos hydrolysats, il a fallu les fractionner en divers acides aminés en mettant en jeu les critères qui leur sont propres : solubilité, dimension moléculaire, charge, *p*H... Les aminoacides comportent deux parties principales, l'une que caractérise le groupe carboxyle favorisant la solubilité en milieu aqueux, et l'autre non polaire conditionnant la solubilité en phase organique. Notons, d'autre part que, dans cette dernière phase, la solubilité des acides aminés est facilitée par la longueur de la chaîne et aussi par l'existence des noyaux aromatiques. Ainsi donc, le cycle pyrrolidine confère à la proline un comportement particulier en présence de la ninhydrine qui la colore en jaune de même que ses dérivés, contrairement aux autres aminoacides qui acquièrent une coloration plus ou moins violette.

Dakin utilisa, en 1918, un mélange binaire composé de butanol et d'eau pour séparer les acides aminés entre deux phases. Il réussit ainsi à fractionner un hydrolysat protéique en cinq catégories de peptides. Craig [56] mit au point une méthode de distribution à contre-courant applicable à leur séparation. Le liquide de fractionnement qu'il utilisait était constitué de butanol et d'acide chlorhydrique à 5 p. 100 ou bien de phénol et d'acide chlorhydrique à 2 p. 100.

Tenant compte de la dimension moléculaire, le fractionnement des protéines peut être obtenu par dialyse. C'est un fait déjà acquis dans le domaine de la séparation des albumines. On sait que le poids moléculaire minimum des protéines non dialysables est compris entre 13 000 et 15 000. Craig & ses Coll. ont établi une méthode de tamis moléculaires, à pores calibrés et de dimensions très réduites, susceptibles de permettre le fractionnement des aminoacides. Or, une résine synthétique peut être considérée comme un tamis moléculaire par excellence. En effet, avec un degré réticulaire convenable, la diffusion, voire la séparation, est possible. Le phénomène est comparable à la dialyse. C'est une méthode sélective très recommandée pour de petites fractions de substance protéique. Aussi Partridge a-t-il proposé pour les acides aminés l'emploi d'une résine polystyrène sulfoné renfermant de 10 à 12 % de divinylbenzène. L'amberlite IR 120 est également une résine sulfonée à réticulations plus ou moins lâches. Se comportant comme un tamis moléculaire, elle sélectionne les ions suivant leur dimension. On doit de ce fait tenir compte d'un « cross linkage » assez élevé. Le cross linkage désigne la texture obtenue après copolymérisation. Les molécules de divinylbenzène se comportent comme les couvercles des mailles formées par les chaînes condensées du styrène. Or, la proportion de divinylbenzène conditionne la dimension des mailles. C'est pourquoi les pourcentages des résines sont toujours indiqués en divinylbenzène.

D'autre part, dans la fabrication des résines, il faut avoir soin d'éliminer les phénomènes de surface par l'emploi de grains assez gros afin de diminuer le rapport surface-volume.

Jusqu'à ces derniers temps, les résines de fractionnement des protéines étaient, soit à base de Zeo-Karb 215,

que Biserte & Boulanger [23] employèrent pour séparer les peptides basiques, soit à base de Dowex 50, souvent utilisé pour isoler sélectivement les acides aminés et autres peptides à chaînes courtes.

Les appareils autoanalytiques dont nous nous sommes servi au cours de notre travail sont dotés d'amberlite IR 120, de cross linkage élevé, de grains calibrés à 15-30 mesh/inch, c'est-à-dire à 500 microns environ de diamètre : Spinco-Beckman, Biochrom, Unichrom-Beckman. L'amberlite est une résine sulfonée très sélective qui donne une bonne séparation. Il suffit de jouer sur le *p*H et la force ionique des différents tampons éluants.

Bien qu'il soit un appareil à séparation accélérée, l'autoanalyseur Unichrom-Beckman est d'un maniement particulièrement délicat. Les pannes dont il est souvent l'objet proviennent, entre autres, de la rapidité de surcharge que nous reprochons aux nouvelles résines qui en garnissent les colonnes, et qui perdent leur pouvoir de séparation après seulement quelques analyses. Bien entendu, nous remédions à ces inconvénients par de fréquents régénérations et dégazages.

I. — PREPARATION DES REACTIFS

A) Tampons éluants.

Les quatre principaux tampons employés comme éluants des acides aminés sont tous à base de citrate de sodium. Leur préparation s'effectue d'après les indications mentionnées dans le tableau suivant :

TAMPONS CITRATES				
*p*H	2,2	3,28	4,25	5.28
Utilisation	Pour dilution et rinçage après charge	Eluant pour longue colonne A.A. ac.	Eluant pour longue colonne A.A. n	Eluant pour petite colonne A.A. b
Citrate de sodium, $2H_2O$	39,2 g	39,2 g	39,2 g	68,6 g
Acide chlorhydrique R.P.	33 ml	24,6 ml	16,74 ml	13 ml
Thiodiglycol	10 ml	10 ml	10 ml	—
Brij-35 : 50 g/150 ml d'eau dist. chaude	5,4 ml	—	5,4 ml	5.4 ml
Pentachlorophénol .	0,2 ml	0,2 ml	0,2 ml	0.2 ml
Volume final porté avec de l'eau distillée à	2 l	2 l	2 l	2 l

Remarques.

Nos observations sont de deux ordres :

1° Théoriquement, nous aurions dû nous servir d'un *p*H-mètre au 100e pour ajuster les *p*H de nos différents tampons. Mais, pratiquement, nous avons employé un appareil sensible au 10e pour fixer les *p*H des éluants qui nous ont permis d'aboutir à de bonnes séparations :

— pour les aminoacides acides, tampon $pH = 3,15$;

— pour les aminoacides neutres, tampon $pH = 4,2$;

— pour les aminoacides basiques, tampon $pH = 5,2$.

2° Nous tenons, d'autre part, à signaler le fait que nous avons été amené à supprimer le brij dans la composition du tampon pH = 3,28, devenu le tampon 3,15, pour nos besoins. En effet, l'introduction de cette substance dans un milieu très acide provoque des précipitations gélatineuses qui obstruent les vannes de l'autoanalyseur et entraînent des pannes fréquentes. Or, la suppression de ce produit n'influe pas sur les résultats de la manipulation, ni sur le nombre de pics d'aminoacides auquel on doit s'attendre pour un hydrolysat de Maïs, ni sur leur ordre d'apparition.

3° Le tampon pH = 3,15 sert également pour l'équilibrage de la grande colonne après que celle-ci ait été régénérée à la soude 0,2 N. A ce titre, cet éluant est placé sous azote dans un flacon en matière plastique, de même d'ailleurs que la solution alcaline de régénération est contenue sous azote dans un autre flacon de même modèle.

B) **Réactif à la ninhydrine.**

a) TAMPON pH = 5,51

Il s'agit d'une solution très concentrée d'acétate de sodium utilisée comme véhicule dans la préparation du réactif à la ninhydrine. Elle est obtenue en mélangeant :

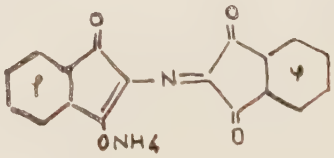
Acétate de sodium, $3H_2O$	1,088 kg
Eau distillée	0,800 l
Acide acétique glacial	0,200 l
Eau distillée ..... q.s.p.	2,000 l

On délaie l'acétate de sodium dans la quantité d'eau indiquée contenue dans un bécher de capacité convenable, on porte au bain-marie jusqu'à dissolution complète

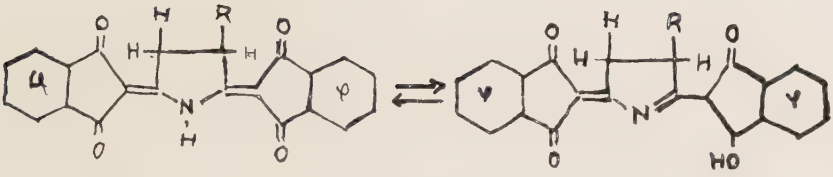
et on laisse la solution se refroidir à la température ambiante. Après y avoir ajouté l'acide acétique, on transvase dans une fiole de 2 l avec les eaux de lavage, on complète au trait de jauge avec de l'eau distillée. Le *p*H de ce tampon est toujours égal ou très voisin de 5,51 et n'a donc pas besoin d'être ajusté.

b) NINHYDRINE - HISTORIQUE

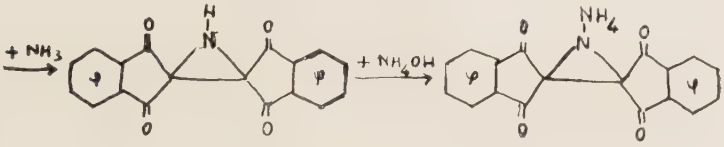
Après la synthèse, en 1910, par Ruhemann [164] de l'hydrate d'indanetrione ou ninhydrine, qui est en réalité de l'hydrate de tricétohydrindène, il a été mis à profit l'intérêt de la réaction colorée que donne ce composé avec les acides aminés. Dans son ouvrage paru en 1958, Breton [32] discute le mécanisme de cette réaction complexe conditionnée par le *p*H du milieu, la température et la concentration des réactifs utilisés. La dicétohydrindylidènedicétohydrindamine semble en résulter. Son sel d'ammonium est comparable à la murexide. A noter que les acides iminés (proline, hydroxypyroline), de même que l'ammoniac, donnent lieu à des colorations autres que justifient les formules suivantes :



Sel d'ammonium de la dicétohydrindylidène-dicétohydrindamine ou DYDA-NH_4 (produit de réaction de la ninhydrine avec les acides aminés.



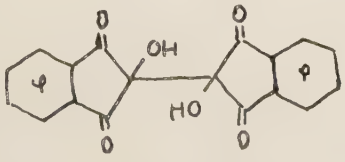
Dérivés obtenus avec la proline, R = H, ou avec l'hydroxyproline, R = OH, de coloration jaune.



Colorant bleu dérivant de l'action de l'ammoniac (ou ammoniaque) avec la ninhydrine, cet ammoniac étant libéré au cours de l'hydrolyse par les acides glutamique et α iminés.

La réaction de Strecker [176] caractérise l'action de la ninhydrine sur les acides aminés en général, mais Schonberg & ses Coll. [166] soutiennent que cette action est plutôt le fait des aminoacides capables de se dégrader en aldéhydes ou en cétones avec perte d'un atome de carbone.

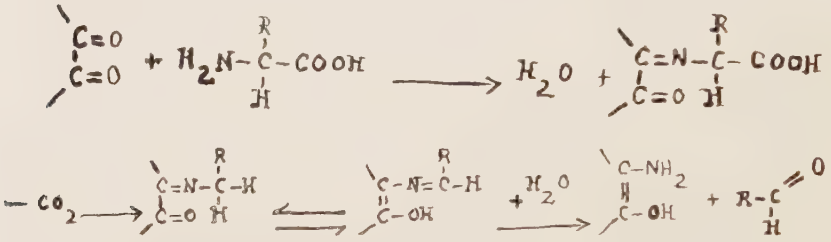
Quant à l'hydrindantine (hydroxy-2-indanedione 1, 3), elle a été isolée pour la première fois par Abderhalden. On peut en écrire la formule sous la forme pinacolique :



Hydrindantine.

Certains auteurs la considèrent comme un métabolite dans la formation du rouge de Ruhemann, d'autres, par contre, lui attribuent le rôle de produit intermédiaire dans la réaction de Strecker [176].

Quoi qu'il en soit, il paraît opportun de souligner l'astucieuse interprétation de l'Université Fouad du Caire, publiée voici bientôt vingt ans, sous la direction de Schonberg [166], en ce sens qu'elle permet de se mieux rendre compte du mécanisme de cette réaction.



Mécanisme réactionnel de Schonberg & coll., 1948.

Il s'ensuit que la réaction de Strecker [176] débute par la formation d'une base de Schiff qui, après décarboxylation, aboutit à deux molécules tautomères dont probablement la forme la plus stable subit un phénomène d'hydrolyse pour donner naissance à un aldéhyde. Il faut aussi noter que la réaction de Strecker n'est pas absolument spécifique, la ninhydrine produisant des colorations atypiques avec des substances autres que les acides aminés.

D'autre part, au point de vue analytique, il était nécessaire de rendre cette réaction quantitative et reproductible. Ce faisant, le réactif à la ninhydrine doit comporter un composé réducteur (chlorure stanneux, hydrindantine...) afin d'empêcher des phénomènes d'oxydation parasites dus le plus souvent aux peroxydes que contient parfois le méthylcellosolve, véhicule utilisé en association avec le tampon acétate pour dissoudre la ninhydrine.

De plus, pour avoir un bon fractionnement des protéines, l'opération doit se dérouler à des *p*H déterminés et à une température fixe : température de 55° C pour les hydrolysats végétaux. C'est du moins à cette température que nous avons obtenu les meilleures séparations avec l'« Unichrom Beckman ».

c) COMPOSITION DU REACTIF

Tampon *p*H = 5,51 filtré	0,500 l
Méthylcellosolve (sans peroxydes).	1,500 l
Ninhydrine	40,000 g
Chlorure stanneux	0,800 g

Avant cette préparation. il est important de vérifier si le méthylcellosolve est exempt de peroxydes. On utilise la réaction à l'iodure de potassium.

Dans un tube à essais, on introduit 3 à 4 ml de méthylcellosolve, une pincée de cristaux de KI et quelques gouttes d'acide acétique pour acidifier.

Examiné au bout de quelques minutes, le mélange doit rester incolore. Une teinte jaune signifierait éventuellement la présence de peroxydes. C'est un inconvénient majeur auquel on peut remédier en distillant le solvant une ou deux fois.

Préparation.

On introduit dans le flacon noir de l'autoanalyseur les quantités convenables de tampon acétate et de méthylcellosolve au moyen d'un entonnoir en verre dont on garnit le goulot central du récipient à réactif pour éviter de le mouiller ; on adapte ensuite aux deux autres goulots latéraux les bouchons-ampoules à ninhydrine et à chlorure stanneux.

Ainsi armé, le flacon noir est posé au-dessus de l'auto-analyseur. On retire l'entonnoir, puis on bouche le goulot central au moyen d'un système d'obturation à deux canalisations dont l'une permet l'arrivée du courant d'azote, l'autre le passage de la solution de ninhydrine dans le circuit de l'appareil, au moment du besoin. On actionne un bouton pour déclencher un flux d'azote qu'on laisse passer pendant un quart d'heure dans le flacon à réactif afin d'en éliminer les traces d'oxygène et d'assurer le brassage du mélange tampon acétate-méthylcellosolve.

Maintenant seulement, on peut y introduire la ninhydrine cristallisée, préalablement pesée et placée dans le plus gros des deux bouchons-ampoules dont il a été déjà question. Il suffit pour cela de le tourner autour de son axe de manière à amener la partie en cul-de-sac dans la position haute. On agite précautionneusement à mesure que les cristaux de ninhydrine tombent dans le mélange dont on fait passer de temps à autre une partie dans le bouchon-ampoule afin de rincer ce dernier avec soin. On introduit ensuite le chlorure stanneux de la même façon que la ninhydrine. Prenant alors à pleines mains le flacon noir, on l'agite vigoureusement pour empêcher tout dépôt de ninhydrine au fond du récipient. On fait arriver de nouveau un flux d'azote durant un quart d'heure pour achever d'homogénéiser le réactif.

Avant emploi, trois heures au moins d'attente sont nécessaires à la solution de ninhydrine pour se mettre en équilibre de température avec le milieu ambiant de l'auto-analyseur.

La préparation de ce réactif comporte un ensemble de manipulations qui doivent être exécutées avec la plus grande précaution.

II. — PROTOCOLE ANALYTIQUE

Les colonnes de l'autoanalyseur sont garnies d'amberlite. Voici les hauteurs de résine qui nous ont donné les meilleurs résultats, avec l'Unichrom :

55 cm : grande colonne.

5 cm : petite colonne.

Les deux grandes colonnes, une fois « packées », doivent être régénérées avant toute analyse. Quant à la petite, elle n'a pas besoin d'être soumise à l'action de la solution alcaline 0,2N puisque, après la sortie de l'arginine, elle ne laisse apparaître aucun autre pic d'acide aminé basique. Les grandes colonnes sont ensuite mises en équilibre avec le tampon 3,28 ou 3,15 tel que nous l'utilisons, c'est-à-dire sans brij pour éviter, ainsi que nous l'avons déjà précisé, la formation de précipitations gélatineuses.

Avant la charge des colonnes, il importe de vérifier si le thermomètre du bain de circulation « Circulating bath » marque bien 55° C, car c'est à cette température que le fractionnement protéique des hydrolysats végétaux s'effectue le mieux avec l'Unichrom. Mais il faut nécessairement que le bain-marie de réaction soit bouillant, la réaction ninhydrine-acides aminés ne se faisant qu'à 100° C avec le maximum d'intensité.

Au cours de notre travail, nous avons utilisé trois sortes d'autoanalyseurs : Spinco 120, Unichrom Beckman, Biochrom, ces deux derniers étant spécialement conçus pour la méthode chromatographique de fractionnement accéléré. Mais c'est de l'Unichrom que nous nous sommes le plus longuement servi, et c'est de lui que nous est venu le maximum d'ennuis. Cependant, grâce à notre

persévérance, nous avons réussi à le faire fonctionner correctement, après l'avoir mis presque en pièces détachées afin de remédier aux défauts de montage. D'autre part, nous avons dû, nous-même, procéder à la dépose puis à la pose du colorimètre de l'autoanalyseur que nous avons réétanché, refocalisé afin d'accroître la sensibilité des trois canaux.

TECHNIQUE

Il faut tout d'abord chasser les bulles de gaz dans les circuits-tampons et ninhydrine, puis régler le débit à 13 s 7/10, ce qui se traduit par un flux d'effluents de 101,8 ml/heure, voisin du flux théorique prévu, donné par la relation :

$$\text{Flux}_{th} = \frac{K}{\text{temps en sec.}} = \frac{1395}{13{,}6} = 102{,}5 \text{ ml/heure.}$$

Désormais, l'autoanalyseur est prêt pour l'analyse.

1° Première manipulation.

Le contenu H.M. précédemment recueilli est centrifugé à grande vitesse durant un quart d'heure. Le liquide limpide décanté est ramené à $p\text{H} = 2{,}2$, puis dilué au quart avec du tampon $p\text{H} = 2{,}2$. Ainsi traité, l'hydrolysat se trouve placé entre les limites de concentration exigées par la technique de Moore et Stein, la solution de référence ou solution d'aminoacides de calibration renfermant 0,625 µMol/ml de chaque acide aminé.

2° Charge de la résine.

A l'aide d'une pipette de précision, graduée au 100e (Corex U.S.A. n° 7065-A), introduire dans la colonne de

l'autoanalyseur 1 ml de solution d'hydrolysat (contenu H.M. dilué au quart) ou de solution de référence. Laisser le liquide s'écouler lentement pour ne pas troubler la surface plane de la résine où il faut ensuite le faire pénétrer au moyen d'un courant d'azote. Il suffit pour cela d'aboucher la colonne avec un bouchon muni d'un circuit de ce gaz. Utiliser juste ce qu'il faut d'azote pour l'introduction complète de la charge. Laver une à deux fois avec quelques gouttes de tampon acide pH = 2,2 les parois internes de la colonne en verre que l'on remplit aussitôt après d'un éluant convenable : tampon pH = 3,15 (grande colonne) ou tampon pH = 5,2 (petite colonne). Ne pas oublier toutefois, avant obturation, de placer au-dessus de la résine une grille et une rondelle de papier-filtre par dessus. Cette précaution est souvent utile pour éviter que certaines impuretés de l'éluant s'accumulent à l'intérieur de la résine, ce qui risque à la longue d'entraîner des surcroissances de pression susceptibles de faire éclater surtout la grande colonne.

A l'aide de deux pinces métalliques spéciales, renforcer l'assujettissement du bouchon obturateur par lequel on fait arriver le tampon qui assurera la migration des aminoacides à travers la résine.

Régler les boutons correspondants de l'appareil pour fixer soit trois paramètres (grande colonne), soit deux (petite colonne), à savoir : temps de changement de tampon (pour grande colonne seulement), durée totale de l'opération de fractionnement et temps de lavage (pour grande et petite colonnes).

Ne pas omettre surtout d'ouvrir la vanne correspondant à la colonne mise en service. L'appareil étant ainsi apprêté, appuyer sur le bouton de « mise en marche » pour amorcer l'analyse. La durée du fractionnement peut

être d'environ 3 h 1/4 pour une grande colonne, 55 mn à 1 heure pour une petite colonne, ou 4 h 3/4 pour une analyse complète. En effet, une demi-heure au moins de battement est nécessaire pour faire arriver le tampon convenable et charger à nouveau la résine adéquate pour une nouvelle opération.

Dix minutes après avoir lancé l'analyse, veiller à ce que l'appareil fonctionne sous un débit constant. Ce faisant, chronométrer le passage d'une bulle provoquée au « flowmeter » pour en connaître la durée de sa progression qui doit être de 13 s 6/10 ou 13 s 7/10 ; sinon modifier le régime de la pompe à ninhydrine pour avoir le débit qu'il faut, étant entendu que le régime de la pompe à tampon aura été préalablement fixé à 20 s 5/10 au moins ou à 20 s 8/10 au plus.

Puis, au bout d'une demi-heure, régler la ligne de base lorsqu'il s'agit de la séparation des acides aminés acides ou neutres, ou au bout de 20 à 22 mn environ lorsqu'il s'agit du fractionnement des aminoacides basiques. Dans ce dernier cas, il est nécessaire d'attendre l'élimination des acides aminés acides et neutres avant tout réglage de la ligne de base. D'ailleurs, le trajet bleu-violet de ces aminoacides — devenus sans intérêt dans l'opération sur une petite colonne — peut être suivi au flowmeter que nous appelons encore « débitmètre ».

Vérifier le débit une ou deux fois encore, fignoler la ligne de base avant la sortie du premier pic. Désormais, l'analyse peut se poursuivre toute seule. Mais il est recommandé de ne pas relâcher la surveillance, ne serait-ce que pour corriger la ligne de base qui tend parfois à décroître en raison de la chute de la pression de

ninhydrine. Ne pas surtout omettre d'abaisser manuellement la manette de changement de tampon au cas où celle-ci ne se déclencherait pas automatiquement au bout de 96 mn. C'est, dans nos conditions opératoires, le temps choisi pour passer du tampon $pH = 3{,}15$ au tampon $pH = 4{,}2$, en vue de la séparation des aminoacides neutres venant après le fractionnement des acides aminés acides.

La fin de l'analyse est marquée par un déclic qui déclenche du même coup un lavage automatique des canalisations de l'appareil. Ce lavage a pour objet de débarrasser les circuits en téflon des restes de ninhydrine qui risquent, en se cristallisant, de boucher ces canalisations et d'entraîner une panne grave. Il doit se poursuivre pendant au moins une heure. Ce lavage au tampon peut être parachevé par un lavage à l'eau distillée si l'emploi de l'autoanalyseur doit être interrompu un certain temps.

III. — CALCULS

A mesure qu'il traverse une petite colonne à l'intérieur du colorimètre, le mélange réactionnel « aminoacides-ninhydrine » provoque la formation de pics correspondant aux acides aminés contenus dans les solutions étudiées. Ces pics sont automatiquement enregistrés au fur et à mesure de leur sortie sur un papier graphique qui se déroule devant la roulette de l'enregistreur à la vitesse de 150 millimètres/heure. L'enregistrement s'effectue à 570 nm pour tous les aminoacides en général, à l'exception de la proline qui est enregistrée à 440 nm.

Dans les récents autoanalyseurs que nous avons utilisés, la densité optique 570 nm est lue sous deux épaisseurs : « 3-Normale » et « Surmultipliée », amélioration qui permet une meilleure précision. Il résulte de ce

fait que les chromatogrammes sont constitués par un ensemble de trois graphiques dont un correspond à 440 nm et les deux autres à 570 nm.

Autre chose qu'il convient de souligner, c'est que, même dans des conditions expérimentales scrupuleusement observées, si l'ordre de sortie des pics ne change pas, par contre, les valeurs absolues de leurs coordonnées peuvent varier d'une manipulation à l'autre. D'où la nécessité d'opérer avec un débit constant afin d'obtenir des chromatogrammes équivalents sinon égaux, ce qui n'est pas toujours facile.

Nous avons également cherché à garantir la validité de nos résultats en prenant la précaution d'introduire un témoin interne dans nos solutions-étalon et dans la préparation de nos hydrolysats. Si la Nor-leucine n'a rien donné en ce sens qu'elle ne se sépare pas du pic de la leucine dont elle fausse la base en l'élargissant, l'acide α aminobutyrique, que nous avons employé en dernier ressort, ne nous a guère apporté de résultats satisfaisants, bien que nous ayons constaté une assez bonne séparation. L'inconvénient de son utilisation vient du fait que son pic, apparaissant immédiatement après l'alanine, gêne considérablement et empêche même quelquefois la sortie de la cystéine (cystine). C'est pourquoi nous avons renoncé à l'employer plus longtemps. Cependant, son utilisation nous a montré la validité de notre technique de transvasements quantitatifs à laquelle nous avons dû soumettre nos hydrolysats pour obtenir en fin de compte une solution d'extrait protéique que nous avons appelée « Contenu H.M. ».

MENSURATION DES CHROMATOGRAMMES

Ne disposant pas d'intégrateur (*), nous avons mesuré avec soin les coordonnées de chaque aminoacide à l'aide d'une règle à calcul de grande précision. Les mensurations sont déterminées tant sur les chromatogrammes de solutions de référence que sur les chromatogrammes d'hydrolysats. Les chromatogrammes de solutions-étalon ont donné lieu à des moyennes que nous appelons des constantes. Or, ces constantes correspondent à des concentrations connues d'acides aminés. Il est par conséquent aisé d'en déduire le pourcentage des aminoacides dans les hydrolysats, compte tenu des mensurations auxquelles ont donné lieu les chromatogrammes de ces hydrolysats.

Nous avons exprimé les résultats de la composition protéique de chacun de nos Maïs en valeurs absolues pour 100 g de substance sèche par rapport à N = 16 p. 100, ce qui est concrétisé par le chapitre suivant spécialement réservé à nos résultats et interprétations.

(*) Au laboratoire de recherche du Pharo, à Marseille, nous avons utilisé un appareil d'intégration.

CHAPITRE XIV

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Notre travail nous a permis de constater, comme le montrent les tableaux des résultats, que le poids sec des caryopses étudiés varie :

— pour le Maïs blanc, de 149 mg (Kolondiéba à petits grains arrondis, Mali), à 462 mg (Beida Rahba Gadima à gros grains plus ou moins arrondis, Maroc) ;

pour le Maïs jaune, de 118 mg (Bakoroni à très petits grains arrondis, Mali) à 365 mg (Hamra Tétouan à grains assez gros plus ou moins arrondis, Maroc) ;

pour le Maïs fortement coloré, bleu-violet, anthocyané, à énormes grains, ovoïdes, aplatis et allongés (Afrique du Sud), de 380 mg à 511 mg.

Pour les Maïs hybrides, nous observons quant au poids sec des grains :

— des chiffres de l'ordre de 178,9 mg à 369,8 mg (variétés marocaines à caryopses jaunes à jaune-rosé, plus ou moins arrondis) ;

des chiffres de l'ordre de 193,5 mg (une seule variété dahoméenne dite « SCAr III », à caryopses blancs plus ou moins aplatis, arrondis au sommet).

Il s'ensuit que, parmi tous les échantillons analysés, le Mali nous a apporté les plus petits grains du genre, le Maroc des caryopses assez gros, l'Afrique du Sud les plus gros grains de l'espèce ; le Dahomey, lui, des caryopses plus ou moins arrondis, tantôt petits, tantôt moyens, leur poids sec étant compris entre 161 mg et 221 mg, tandis que les Landes, des matériaux moyens dans l'ensemble, leur poids sec variant de 189 mg à 315 mg.

A ces critères ainsi déterminés, on ne peut attacher qu'une importance relative. Ils sont en effet susceptibles de variation au sein d'une même race de Maïs, comme d'ailleurs sur un même pied, aussi bien que sur un même épi où les caryopses situés près du sommet sont toujours plus petits que ceux de la base. Mais ces données ne comportent pas moins un certain intérêt analytique.

Dans les différents tableaux qui vont suivre, nous avons groupé les Maïs étudiés par contrées géographiques en y joignant certains critères organoleptiques et les résultats numériques correspondant aux compositions protéiques des échantillons. Ils sont ensuite suivis, chacun, d'une discussion. Enfin, une interprétation générale de l'ensemble des résultats apporte une information plus élargie sur la valeur nutritionnelle des divers matériaux examinés.

Résultats.

TABLEAU I.

MAIS DU MALI : % D'AMINOACIDES PAR RAPPORT A N = 16 P. 100

Variétés	Zangara	Wassa Diéni	Kolondiéba	Bakoroni
Couleur	J.	Blanc	Blanc	J.
Taille	m.	m.	t.p.	t.p.
Humidité en grammes p. 100	—	—	—	6,4
Poids sec moyen en mg d'un grain	255	215	149	118
N_t p. 100	1,28	1,96	1,28	1,5
Protéines ($N_t \times 6,25$ p. 100)	8,00	12,25	8,00	9,37
Teneur en aminoacides				
Ac. aspartique	7,2	6,7	7,8	7,0
Thréonine	3,9	3,7	3,9	3,7
Sérine	5,0	5,3	4,7	5,1
Ac. glutamique	18,8	20,0	18,3	19,0
Proline	8,5	8,9	7,7	8,6
Glycocolle	4,4	3,6	4,2	3,9
Alanine	8,0	8,1	7,6	8,5
Cystine	1,4	1,4	1,4	1,4
Valine	5,6	5,7	5,7	6,0
Méthionine	1,8	1,5	1,6	1,7
Isoleucine	3,5	3,8	3,5	3,6
Leucine	11,6	12,6	11,4	12,0
Tyrosine	4,2	4,6	4,0	4,3
Phénylalanine	4,4	4,9	4,2	4,6
Lysine	3,0	2,1	3,1	2,5
Histidine	2,5	2,4	2,8	2,4
Arginine	4,9	4,2	5,0	4,3
NH_4^+	2,8	2,8	2,5	2,8
Lysine (méthode chimique)	3,0	2,05	3,0	2,4

TABLEAU I^bis

MAIS DU MALI : % D'AMINOACIDES PAR RAPPORT A N = 16 P. 100

Variétés	Diémani Télémani	Dioubani	Golodie	Guéguéréni	Tiémantié de Zamblara
Couleur	Blanc	J.	Blanc	J.	J.
Taille	t.g.	g.	m.	m.	m.
Humidité en grammes p. 100	5,5	7,3	6,9	7,8	6,7
Poids sec moyen en mg d'un grain	345	298	237	275	268
N_t p. 100	1,54	1,42	1,43	1,8	1,27
Protéines ($N_t \times 6,25$ p. 100)	9,62	8,87	8,93	11,25	7,93
Teneur en aminoacides					
Ac. Aspartique	7,0	7,3	9,0	6,8	8,6
Thréonine	3,6	3,8	4,5	3,6	3,0
Sérine	4,3	4,8	5,3	4,0	3,5
Ac. glutamique	18,8	18,0	19,5	20,0	19,0
Proline	9,0	7,9	8,0	8,4	8,0
Glycocolle	3,2	3,6	3,7	3,3	3,3
Alanine	7,0	8,5	6,5	6,6	7,5
Cystine	1,0	1,4	1,0	0,9	1,0
Valine	5,0	4,8	4,5	5,4	4,6
Méthionine	1,6	1,8	1,4	1,2	1,5
Isoleucine	4,6	3,6	4,0	4,3	3,8
Leucine	13,0	11,0	12,0	13,0	12,4
Tyrosine	4,1	3,9	3,8	4,4	4,5
Phénylalanine	4,8	5,5	5,0	5,2	4,9
Lysine	2,6	3,0	2,9	2,6	2,5
Histidine	2,4	2,8	3,0	2,7	2,9
Arginine	6,0	5,1	4,5	5,1	4,8
NH_4	2,4	2,7	3,0	2,9	3,0
Lysine (méthode chimique)	2,5	3,0	2,8	2,5	2,4

L'examen de ces tableaux aboutit à des constatations suivantes :

1° des taux d'azote total de faible proportion dans l'ensemble, 1,28 à 1,96 p. 100 pour les Maïs du Mali ;

2° sur 9 échantillons, 3 seulement présentent une teneur en lysine de 3 p. 100 en moyenne, les autres de 2,1 à 2,9 p. 100 ;

3° des concentrations convenables :

— en acide aspartique (asparagine), jamais inférieures à 6,7 p. 100,

— en thréonine, de 3 à 4,5 p. 100,

— en acide glutamique (glutamine), jamais inférieures à 18 p. 100, atteignant même 20 p. 100,

— en proline, de 7,7 à 9,9 p. 100,

— en valine, de 4,6 à 6 p. 100,

— en leucine, de 11 à 13 p. 100,

— en phénylalanine, de 4,2 à 5,5 p. 100,

— en arginine, de 4,2 à 6 p. 100 ;

4° ces Maïs sont normalement pourvus en méthionine et cystéine ;

5° ils présentent chacun un taux d'ion NH_4^+ assez élevé en raison de leurs fortes teneurs en glutamine ;

6° les variétés jaunes apparaissent pourvues en aminoacides (lysine) autant que les variétés blanches.

TABLEAU II.

MAIS DE LA COTE-D'IVOIRE ET DE LA HAUTE-VOLTA

% D'AMINOACIDES PAR RAPPORT A N = 16 P. 100

Variétés	Ono (C.I.)	Ouhahigouya (H.V.)	Ouhahigouya (H.V.)
Couleur	Blanc	Blanc	J.
Taille	m.	g.	p.
Humidité en grammes p. 100	6,3	7,3	7,9
Poids sec moyen en mg d'un grain	253	274	206
N_t p. 100	2,03	1,58	1,61
Protéines ($N_t \times 6,25$ p. 100)	12,68	9,87	10,06
Teneur en aminoacides			
Ac. Aspartique	6,5	6,7	6,6
Thréonine	3,5	4,5	3,9
Sérine	5,3	5,2	4,8
Ac. glutamique	19,5	18,5	19,0
Proline	9,0	7,8	7,1
Glycocolle	3,5	4,1	4,2
Alanine	8,7	6,5	6,9
Cystine	1,4	1,3	1,0
Valine	5,5	5,1	4,8
Méthionine	1,6	1,7	1,2
Isoleucine	3,8	4,2	3,9
Leucine	11,4	13,9	12,9
Tyrosine	4,8	3,4	4,2
Phénylalanine	5,1	5,1	4,8
Lysine	2,1	2,2	2,6
Histidine	2,6	2,6	3,1
Arginine	4,5	4,2	6,6
NH_3	3,0	2,8	3,0
Lysine (méthode chimique)	2,0	2,1	2,8

Ces trois Maïs présentent :

1° des taux d'azote total variant de 1,58 à 2,03 p. 100 ; 2,03 p. 100 pour le Maïs Ono (Côte-d'Ivoire) qui n'est cependant pas le plus riche des trois en lysine, la teneur de ses protéines en cet aminoacide n'étant que de 2,1 p. 100 ;

2° des concentrations en lysine comprises entre 2,1 (Ono) et 2,6 p. 100 (Ouhahigouya, Haute-Volta) : c'est un Maïs jaune qui détient ici la plus forte teneur en lysine ;

3° des taux d'acide aspartique et d'acide glutamique variant respectivement de 6 à 6,7 p. 100, et de 18,5 à 19,5 p. 100 ;

4° des taux de proline, valine, leucine, phénylalanine compris, dans l'ordre, entre 7,1 et 9 p. 100, 4,8 et 5,5 p. 100, 11,4 et 13,9 p. 100, 4,8 et 5,1 p. 100 ;

5° des taux d'arginine compris entre 4,2 et 6,6 p. 100.

Notons que la méthionine et la cystéine s'y rencontrent en proportions acceptables, les teneurs en ion NH_4^+ sont situées autour de 3 p. 100 (sels ammoniacaux libres, asparagine, glutamine).

TABLEAU III.

MAIS DU DAHOMEY : % D'AMINOACIDES PAR RAPPORT A N = 16 P. 100

	Récolte de 1966				
Variétés	Agbo t. venant	Tout venant	Jaune d'Ina	Niaouli 7	SCAr III
Couleur	J.	J. pâle	J. doré	Blanc mat	Blanc
Taille	m.	m.	m.	p.	p.
Humidité en grammes p. 100	13,6	13,7	13,0	13,1	13,9
Poids sec moyen en mg d'un grain	221	212	209	182	193
N_t p. 100	1,72	1,7	1,52	1,81	1,82
Protéines ($N_t \times 6,25$ p. 100)	10,75	10,62	9,5	11,31	11,37
Teneur en aminoacides					
Ac. Aspartique	7,4	7,0	7,0	7,1	6,3
Thréonine	3,2	3,6	4,0	4,0	3,8
Sérine	4,4	4,2	4,2	4,7	4,8
Ac. glutamique	18,0	17,3	17,9	17,6	17,2
Proline	8,5	7,6	8,5	8,1	9,2
Glycocolle	3,6	3,7	3,7	3,1	4,1
Alanine	7,3	7,0	6,5	6,7	7,8
Cystine	1,0	1,0	1,5	1,2	1,8
Valine	4,8	5,0	4,9	6,0	5,0
Méthionine	1,7	1,2	1,5	2,2	1,4
Isoleucine	4,0	4,5	4,0	3,8	3,7
Leucine	13,0	13,2	10,5	12,9	10,4
Tyrosine	5,0	5,6	5,0	4,6	4,2
Phénylalanine	5,7	5,4	5,7	4,8	5,4
Lysine	2,8	2,8	3,5	3,0	3,9
Histidine	2,2	2,3	2,8	2,8	3,0
Arginine	5,2	5,2	6,0	4,5	5,6
NH_4^+	2,1	2,4	2,6	2,0	2,1
Lysine (methode chimique)	2,7	2,85	3,37	3,1	3,5

j. = jaune ; m. = moyen ; p. = petit ; t.p. = très petit ; g. = gros ; t.g. = très gros.

TABLEAU III[bis].

MAIS DU DAHOMEY : % D'AMINOACIDES PAR RAPPORT A N = 16 P. 100

	RÉCOLTE DE 1967		
Variétés	Jaune d'Ina	Niaouli 7	SCAr III
Couleur	J. doré	Blanc	Blanc
Taille	p.	p.	p.
Humidité en grammes p. 100	11,0	11,1	10,6
Poids sec moyen en mg d'un grain	161	166	198
N_t p. 100	1,47	1,74	1,7
Protéines ($N_t \times 6,25$ p. 100)	9,18	10,87	10,62
Teneur en aminoacides			
Ac. Aspartique	6,7	7,0	6,8
Thréonine	4,1	4,5	4,0
Sérine	4,9	5,7	5,0
Ac. glutamique	17,3	17,0	16,8
Proline	8,9	8,5	9,3
Glycocolle	4,2	2,9	4,0
Alanine	6,8	6,8	7,0
Cystine	1,4	1,3	1,3
Valine	4,7	5,3	4,8
Méthionine	1,4	2,0	1,6
Isoleucine	3,5	3,2	3,5
Leucine	13,0	14,0	11,5
Tyrosine	4,6	3,6	4,0
Phénylalanine	5,0	4,9	5,2
Lysine	3,3	2,9	3,5
Histidine	2,9	3,4	3,4
Arginine	5,4	4,2	3,9
NH_4^+	1,8	2,1	1,8
Lysine (méthode chimique)	—	—	—

En examinant les résultats ci-dessus consignés, on constate dans l'ensemble que :

1° les taux d'humidité sont assez homogènes à l'intérieur d'une même variété, oscillant entre 13 et 13,9 p. 100 (récolte de 1966), entre 10,6 et 11,1 p. 100 (récolte de 1967), cependant qu'il s'agit, dans un cas comme dans l'autre, d'échantillons appartenant chacun à la même variété ;

2° les teneurs en azote total sont comprises entre 1,52 et 1,82 p. 100 (récolte de 1966), 1,47 et 1,74 p. 100 pour ces mêmes échantillons, mais provenant de la récolte de 1967 ;

3° les concentrations en lysine sont en général supérieures à celles des Maïs du Mali, de la Côte-d'Ivoire et de Haute-Volta... se situant entre 2,8 et 3,9 p. 100 (SCAr III) pour les produits de la récolte 1966, entre 2,9 et 3,5 p. 100 (SCAr III) pour ces même produits, mais issus cette fois de la récolte 1967, ce qui, à notre avis, serait le signe d'une moins bonne qualité quant à ces derniers échantillons ;

4° les taux d'arginine sont affectés des mêmes irrégularités que les taux de lysine, si l'on retient notamment le cas du SCAr III, variété hybride que nous considérons comme le plus riche Maïs dahoméen ; voici quelques-unes de ses concentrations :

lysine : 3,9 p. 100 (récolte 1966), 3,5 p. 100 (1967),

arginine : 5,6 p. 100 (récolte 1966), 3,9 p. 100 (1967);

5° les autres aminoacides sont en proportions convenables.

Ainsi que nous l'avons déjà précisé, le Maïs SCAr III est une variété hybride digne d'intérêt du fait de sa concentration en lysine, qui a été obtenue sur place au Dahomey par suite d'un croisement entre un Maïs local (Niaouli 6) et un gène martiniquais. Rappelons qu'en raison de la teneur en lysine élevée du SCAr III par rapport aux autres variétés dahoméennes et surtout par comparaison à Niaouli 7 (3 p. 100), nous avons attribué au gène précité un rôle favorisant la synthèse de cette base hexonique indispensable à l'organisme. De cet hybride blanc qu'est le SCAr III, on peut rapprocher une autre variété locale jaune (le Maïs d'Ina) qui paraît également intéressante, la richesse en lysine de ses protéines étant de 3,5 p. 100 (récolte 1966).

TABLEAU IV.

MAIS DU MAROC : % D'AMINOACIDES PAR RAPPORT A N = 16 P. 100

Variétés	Beida Ouled Kerroum	Beida-Téiouan	Beida-Arbaoua	Beida-El Manzel	Beida-Rahba-Gadima
Couleur	Blanc	Blanc	Blanc	Blanc	Blanc
Taille	p.	g.	g.	g.	t,g.
Humidité en grammes p. 100	7,0	7,0	6,9	6,8	7,4
Poids sec moyen en mg d'un grain	183	301	325	289	370
N_t p. 100	1,98	2,10	1,75	2,00	2,10
Protéines ($N_t \times 6,25$ p. 100)	12,37	13,12	10.93	12,5	13,12
Teneur en aminoacides					
Ac. Aspartique	6,7	6,6	6,6	6,6	6,6
Thréonine	4,2	4,0	3,8	3,4	3,8
Sérine	4,8	4,3	5,0	5,1	4,1
Ac. glutamique	18,3	18,0	20,3	20,5	20,7
Proline	9,4	9,6	8,0	9,7	9,5
Glycocolle	3,5	3,5	3,4	3,2	3,2
Alanine	5,6	5,5	8,3	7,9	8,1
Cystine	1,0	1,0	1,4	1,4	1,4
Valine	6,9	6,1	5,1	4,8	4,9
Méthionine	1,5	1,6	1,6	1,5	1,1
Isoleucine	3,4	3,9	3,7	3,8	3,7
Leucine	11,2	11,5	13,7	12,1	13,3
Tyrosine	4,8	4,5	4,3	4,5	4,2
Phénylalanine	5,3	5,1	5,3	5,2	4,9
Lysine	3,4	3,0	2,3	2,2	2,5
Histidine	3,6	3,7	2,7	2,6	2,7
Arginine	5,2	5,8	4,3	4,5	4,8
NH_3	3,1	3,0	2,9	3,2	3,0
Lysine (méthode chimique)	3,24	3,0	2,15	2,1	2,40

TABLEAU V.

MAIS DU MAROC (suite). : % D'AMINOACIDES PAR RAPPORT A N = 16 P. 100

Variétés	Séfra-Dar Bouazza	Séfra-Al Houceima	Séfra-Midelt	Séfra-Khénifra
Couleur	j.	j.	j.	j.
Taille	g.	g.	g.	g.
Humidité en grammes p. 100	6,4	6,5	6,9	6,9
Poids sec moyen en mg d'un grain	303	289	274	296
N_t p. 100	1,94	2,25	2,00	1,95
Protéines ($N_t \times 6,25$ p. 100)	12,07	14,00	12,50	12,18
Teneur en aminoacides				
Ac. Aspartique	5,9	6,6	6,1	6,5
Thréonine	3,4	3,5	4,2	4,2
Sérine	4,7	4,7	6,8	6,0
Ac. glutamique	18,5	19,5	18,0	17,6
Proline	11,1	10,2	10,0	9,1
Glycocolle	2,9	2,9	4,0	4,3
Alanine	8,1	8,0	7,0	6,0
Cystine	1.4	1,4	1,3	1,0
Valine	4,4	4,7	5,3	5,7
Méthionine	1.4	1,3	1,3	1,6
Isoleucine	3,3	3,5	3,2	4,0
Leucine	13,3	13,2	10,5	9,9
Tyrosine	4,3	4,4	4,6	5,0
Phénylalanine	4,7	4,8	5,0	5,5
Lysine	1,9	2,1	3,0	3,5
Histidine	2,5	2,7	3,2	3,2
Arginine	4,0	4,3	4,5	5,9
NH_4^+	2,8	3,0	3,0	3,1
Lysine (méthode chimique)	2,1	2,15	2,85	3,32

TABLEAU V^bis.

MAIS DU MAROC (suite). : % D'AMINOACIDES PAR RAPPORT A N = 16 P. 100

Variétés	Séfra-Sragna	Séfra-Safi	Séfra-Oualidia	Séfra-Rhamna
Couleur	j.	j.	j.	j.
Taille	m.	m.	m.	m.
Humidité en grammes p. 100	6,1	6,9	6,4	6,8
Poids sec moyen en mg d'un grain	269	250	251	232
N_t p. 100	2,10	2,00	2,30	1,72
Protéines ($N_t \times 6,25$ p. 100)	13,12	12,50	14,37	10,75
Teneur en aminoacides				
Ac. Aspartique	6,5	6,3	6,4	6,0
Thréonine	4,1	4,3	4,4	4,1
Sérine	5,1	6,1	5,0	5,0
Ac. glutamique	18,1	17,4	18,0	19,0
Proline	8, 2	9,0	8,0	8,3
Glycocolle	4,4	4,0	4,6	3,7
Alanine	5,5	7,0	5,4	6,1
Cystine	1,3	1,0	1,3	1,4
Valine	5,9	5,5	5,8	5,5
Méthionine	1,5	1,7	1,3	1,6
Isoleucine	3,6	3,6	3,2	4,0
Leucine	10,1	9,2	10,0	11,0
Tyrosine	5,2	5,0	5,6	4,6
Phénylalanine	6,8	5,5	6,2	5,5
Lysine	3,6	3,6	4,5	2,8
Histidine	3,8	3,4	3,3	3,0
Arginine	5,0	6,0	4,9	5,7
NH_4^+	4,0	3,2	4,0	2,8
Lysine (méthode chimique)	3,33	3,35	4,25	2,8

TABLEAU VI.

MAIS DU MAROC (suite). : % D'AMINOACIDES PAR RAPPORT A N = 16 P. 100

Variétés	Hamra Tétouan	Hamra Houara	Hamra Inezgane	Hamra Ait Ouarrane	Azougah Midelt
Couleur	j.	j. violet	j. rosé	j. rosé	j. rosé
Taille	t.g.	m.	g.	m.	t.g.
Humidité en grammes p. 100	6,3	6,4	6,4	6,3	5,3
Poids sec moyen en mg d'un grain	389	228	309	255	341
N_t p. 100	1,98	2,20	1,90	1,85	1,98
Protéines ($N_t \times 6,25$ p. 100)	12,37	13,75	11,89	11,56	12,37
Teneur en aminoacides					
Ac. Aspartique	7,0	7,1	5,7	7,2	6,3
Thréonine	4,9	4,4	3,1	4,6	4,8
Sérine	6,0	6,1	4,3	6,4	6,0
Ac. glutamique	17,9	17,3	19,8	18,0	17,0
Proline	8,0	7,6	11,1	7,9	8,0
Glycocolle	3,9	3,6	2,9	4,0	4,0
Alanine	6,6	6,4	8,8	6,9	6,0
Cystine	1,0	1,0	1,4	1,0	1,0
Valine	6,0	6,1	4,3	6,4	6,2
Méthionine	1,6	1,3	1,0	1,3	1,5
Isoleucine	4,1	3,9	3,1	3,1	4,0
Leucine	11,2	10,9	14,4	10,6	11,1
Tyrosine	4,5	5,0	4,7	4,9	5,1
Phénylalanine	5,3	5,6	5,1	5,7	6,0
Lysine	2,7	2,8	2,2	3,1	2,3
Histidine	2,1	3,0	2,2	2,9	3,0
Arginine	4,7	5,0	3,9	4,9	5,7
NH_3	2,9	3,1	2,6	3,1	3,2
Lysine (méthode chimique)	2,5	2,6	2,3	2,97	2,15

L'étude de ces tableaux conduit à des observations suivantes :

1° homogénéité des taux d'humidité se maintenant autour de 6 p. 100, sauf pour la variété Azougah Midelt (5,3 p. 100) ;

2° taux d'azote total variant de 1,72 (Séfra Rhamna) à 2,3 p. 100 (Séfra Oualidia) ;

3° taux de lysine : sur 18 des Maïs marocains non hybrides que nous avons analysés, 8 renferment des concentrations égales ou supérieures à 3 p. 100, atteignant même 4,5 p. 100 (Séfra Oualidia), les 10 autres, des concentrations variant de 1,9 (Séfra-Dar Bouazza) à 2,8 p. 100 (Séfra Rhamna) ; ce que nous interprétons comme le signe d'une forte hétérogénéité chez les Maïs marocains à pollinisation libre, cette hétérogénéité affectant même les individus d'une même variété, la variété Séfra par exemple : S. Oualidia, 4,5 p. 100 ; S. Safi et S. Sragna, 3,6 p. 100 ; S. Khénifra, 3,5 p. 100 ; S. Midelt et S. Rhamna, 3 et 2,8 p. 100 ; S. Al Houcéima et S. Dar Bouazza, 2,1 et 1,9 p. 100 ; les variétés Béida et Hamra paraissent assez homogènes ;

4° ces Maïs sont dans l'ensemble riches en glutamine, proline, arginine... et présentent une forte concentration en ion NH_4^+.

TABLEAU VII.

MAIS DU MAROC (suite), VARIETES HYBRIDES

% D'AMINOACIDES PAR RAPPORT A N = 16 P. 100

Variétés	V_1-1	V_1-6	V_1-8	V_2-2	V_2-3	V_2-4	V_2-10	V_3-3	V_3-9	V_3-10
Couleur	j.o.	j.o.	j.o.	j.o.	j.o.	j.o.	j.o.	j.o.	j.o.	j.o.
Taille	m.	t.g.	g.	g.	g.	g.	m.	g.	m.	p.
Humidité en g p. 100	8,8	8,5	8,5	8,2	8,4	8,3	8,7	8,4	8,6	8,3
Poids sec moyen en mg d'un grain	223	343	257	290	260	268	201	261	219	179
N_t p. 100	2,18	2,18	2,40	2,18	2,26	2,12	2,02	2,12	2,12	2,12
Protéines ($N_t \times 6,25$ p. 100)	13,62	13,62	15,00	13,62	14,12	13,25	12,62	13,25	13,25	13,25
Teneur en aminoacides										
Ac. Aspartique	6,4	6,6	6,2	6,0	6,2	6,3	6,5	6,5	6,7	7,0
Thréonine	4,4	3,4	3,6	3,7	3,8	3,9	3,8	3,9	3,7	4,0
Sérine	5,0	5,0	4,3	4,7	5,7	5,3	5,4	5,2	5,3	5,8
Ac. glutamique	18,0	18,5	18,7	19,6	19,0	18,6	18,9	19,0	18,1	17,9
Proline	9,0	9,5	9,0	8,6	8,0	7,8	7,7	7,6	7,3	6,9
Glycocolle	4,4	4,5	4,3	4,2	4,1	4,5	4,1	4,5	4,2	4,1
Alanine	7,8	7,0	6,8	7,5	7,7	7,6	7,2	8,0	7,2	8,3
Cystine	1,0	1,4	1,3	1,2	1,3	1,1	1,3	1,1	1,0	1,1
Valine	5,4	5,0	4,8	5,3	5,1	6,0	5,7	6,0	5,0	6,0
Méthionine	1,7	1,5	1,4	1,1	1,2	1,2	1,5	1,8	1,9	1,7
Isoleucine	3,0	3,6	4,4	3,5	3,9	4,8	4,2	4,3	4,0	4,4
Leucine	9,4	11,0	10,8	11,1	11,2	11,1	10,9	10,8	10,9	10,4
Tyrosine	4,2	4,3	3,6	3,3	4,4	3,8	4,0	4,9	4,7	3,7
Phénylalanine	5,0	4,9	4,8	4,2	4,8	4,7	4,9	5,0	5,2	4,5
Lysine	4,3	3,5	3,6	3,7	3,7	3,9	3,8	3,5	4,1	3,5
Histidine	3,5	3,1	3,1	3,0	2,9	3,4	3,2	2,9	3,3	3,1
Arginine	6,1	6,0	6,1	6,0	6,6	5,8	5,5	5,4	6,0	5,5
NH_4^+	4,0	3,0	2,6	2,6	2,5	2,5	2,3	2,3	2,6	2,3
Lysine (méthode chimique)	4,05	3,3	3,5	3,5	3,6	3,7	3,8	3,4	4,0	3,2

TABLEAU VIII.

MAIS DU MAROC (suite), VARIETES HYBRIDES

% D'AMINOACIDES PAR RAPPORT A N = 16 P. 100

Variétés	V_4-1	V_4-3	V_4-9	V_5-2	V_5-6	V_7-8	V_6-10	V_7-4	V_7-8	V_7-10
Couleur	j. pâle	j.o.	j.o.	j.o.	j.o.	j.o.	j.o.	j.o.	j.o.	j.o.
Taille	g.	g.	g.	g.	t.g.	m.	g.	t.g.	t.g.	g.
Humidité en g p. 100	8,8	8,2	8,7	8,9	8,0	8,5	8,5	8,2	8,2	8,0
Poids sec moyen en mg d'un grain	280	305	272	266	370	224	294	342	356	287
N_t p. 100	2,23	2,21	2,35	1,35	2,04	2,31	2,09	1,92	2,00	1,95
Protéines ($N_t \times 6,25$ p. 100)	13,93	13,81	14,68	8,43	12,75	14,43	13,06	12,00	12,50	12,20
Teneur en aminoacides										
Ac. Aspartique	6,5	5,9	6,2	5,7	6,0	6,4	6,0	6,3	7,0	7,2
Thréonine	4,1	3,9	3,9	4,2	4,6	3,6	3,5	4,0	4,0	4,1
Sérine	5,0	5,1	5,7	4,7	5,4	5,3	4,2	6,0	5,0	5,2
Ac. glutamique	18,0	18,9	17,5	18,5	19,0	17,9	18,0	18,9	19,0	18,9
Proline	8,1	9,1	7,8	9,5	8,5	8,3	7,4	7,0	8,0	7,0
Glycocolle	4,0	4,1	4,1	3,6	4,0	5,0	3,6	4,0	3,4	4,0
Alanine	7,6	6,5	7,4	6,8	7,0	7,6	7,3	7,6	7,0	8,0
Cystine	1,2	1,0	1,0	1,1	1,1	1,0	1,3	1,0	0,9	1,1
Valine	5,3	5,8	5,6	6,0	6,0	5,6	5,5	5,8	6,1	6,0
Méthionine	1,7	1,7	1,5	1,9	1,2	1,1	1,4	1,7	1,9	1,7
Isoleucine	4,8	3,2	4,4	3,4	3,9	4,1	3,9	4,0	3,6	4,0
Leucine	10,5	8,7	9,8	8,3	10,0	10,9	10,5	10,4	10,0	9,9
Tyrosine	3,9	4,3	4,8	4,5	4,7	4,4	4,6	4,0	3,9	4,0
Phénylalanine	5,5	4,8	5,7	5,0	5,1	5,7	5,4	5,0	4,8	4,7
Lysine	3,4	4,4	3,2	4,4	3,1	2,9	3,4	4,2	3,6	4,1
Histidine	2,7	4,0	2,8	3,8	2,6	2,8	2,9	3,3	4,0	3,9
Arginine	6,2	6,6	6,4	6,0	5,3	4,7	5,5	4,5	5,5	5,8
NH_3	2,0	3,2	2,1	3,0	2,7	2,2	2,1	2,6	2,4	2,4
Lysine (méthode chimique)	3,25	4,27	3,0	4,3	3,0	3,1	3,3	4,0	3,4	3,9

TABLEAU IX.

MAIS DU MAROC (suite et fin), VARIETES HYBRIDES

% D'AMINOACIDES PAR RAPPORT A N = 16 P. 100

Variétés	V_{8}-3	V_{8}-7	V_{9}-2	V_{9}-6	V_{9}-10	V_{11}-2	V_{11}-4	V_{11}-5	V_{11}-6	V_{11}-9
Couleur	j.o.	j.	j.	j.	j.o.	j.o.	j.o.	j.o.	j.o.	j.o.
Taille	g.	t.g.	t.g.	g.	t.g.	m.	m.	g.	g.	g.
Humidité en g p. 100	8,0	8,5	8,1	8,0	8,4	8,0	8,5	8,4	8,4	8,1
Poids sec moyen en mg d'un grain	269	316	314	275	332	196	224	283	266	299
N_t p. 100	2,16	1,55	1,93	2,32	2,32	2,11	2,18	2,18	2,07	2,13
Protéines ($N_t \times 6,25$ p. 100)	13,50	9,68	12,06	14,50	14,50	13,18	13,62	13,62	12,93	13,31
Teneur en aminoacides										
Ac. Aspartique	7,1	6,7	7,0	7,0	6,9	6,9	6,8	6,7	6,4	6,6
Thréonine	4,1	4,5	4,1	4,6	4,3	4,6	3,8	3,9	4,0	4,2
Sérine	5,4	5,6	5,6	5,2	4,9	5,2	5,4	5,2	4,9	5,0
Ac. glutamique	18,6	19,0	18,5	18,7	18,9	19,6	19,9	19,6	19,8	20,0
Proline	7,2	7,7	8,0	8,0	7,5	7,8	7,6	7,7	7,8	8,2
Glycocolle	4,1	4,3	3,7	3,6	4,4	3,8	3,6	4,6	3,8	3,6
Alanine	7,6	7,7	7,9	7,0	7,5	7,2	7,4	7,8	7,6	7,5
Cystine	1,6	1,8	2,0	1,6	1,7	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1
Valine	4,3	4,5	4,0	4,5	4,8	4,6	4,7	4,2	4,5	4,5
Méthionine	1,8	1,9	1,9	1,7	1,8	1,2	1,3	1,2	1,0	1,0
Isoleucine	3,4	3,5	3,9	3,6	3,7	3,9	3,2	3,3	3,0	8,3
Leucine	11,8	12,0	12,3	13,0	12,8	12,7	13,1	12,0	13,8	13,3
Tyrosine	4,6	4,5	4,0	3,9	3,7	4,0	3,4	3,9	4,1	3,9
Phénylalanine	4,9	4,9	4,7	4,2	4,9	4,7	4,5	5,0	4,9	4,7
Lysine	3,6	3,1	2,7	3,0	2,4	2,5	2,1	3,0	2,5	2,6
Histidine	3,3	3,0	2,9	2,7	2,1	3,0	2,4	2,1	2,5	2,1
Arginine	4,0	4,1	4,6	4,6	4,9	4,2	4,2	5,1	4,8	4,9
NH_3	2,3	2,4	2,4	2,2	2,0	2,3	2,0	2,1	1,9	1,7
Lysine (méthode chimique)	3,3	3,2	2,75	3,0	2,3	2,4	2,2	3,05	2,3	2,4

De l'examen de ces trois tableaux, où sont rassemblés les résultats d'analyse des Maïs hybrides marocains, il ressort que :

1° les taux d'humidité sont homogènes dans l'ensemble des 30 échantillons étudiés, se situant autour de 8 p. 100, jamais inférieurs à 8 p. 100 ;

2° les taux d'azote total sont compris entre :

— 2,02 et 2,4 p. 100, pour la série V_{1-1} à V_{3-10} (tableau VII),

— 1,92 et 2,35 p. 100, pour la série V_{4-1} à V_{7-10} (tableau VIII),

— 1,93 et 2,32 p. 100, pour la série V_{8-3} à V_{10-9} (tableau IX) ;

3° les hybrides présentant respectivement des taux d'azote total 1,35 et 1,55 constituent des cas singuliers révélant ainsi des individus probablement récessifs, survenant par suite des phénomènes de disjonction chromosomique ; cas comparables à celui du Maïs Opaque-2 ;

4° du point de vue de la composition protéique, ces échantillons, dans la généralité des cas, montrent une certaine homogénéité ; en effet, sur 30 échantillons analysés :

— 6 présentent des teneurs en lysine de plus de 4,0 p. 100 : V_{3-9} (4,1), V_{7-10} (4,1), V_{7-4} (4,2), V_{1-1} (4,3), V_{4-3} et V_{5-2} (4,4),

— 17 présentent des teneurs en lysine de 3,0 à 3,9 p. 100,

— 5 présentent des teneurs en lysine de 2,1 à 2,9 p. 100.
(A noter que les individus appartenant à la première série $V_{1\text{-}1}$ - $V_{3\text{-}10}$ (tabl. VII) apparaissent comme les plus homogènes tant pour la lysine que pour l'arginine.)

TABLEAU X.

MAIS D'AFRIQUE DU SUD : % D'AMINOACIDES PAR RAPPORT A N = 16 P. 100

Variétés	Mais hybrides (graines en vrac)			Mais sur épi
	Caryopses blancs	Caryopses color. (20 % d'hybrid.)	Moyennes des résultats	Caryopses
Couleur	blanc	bleu-violet	—	blanc
Taille	t.g.	énormes	—	g.
Humidité en grammes p. 100	—	—	—	—
Poids sec moyen en mg d'un grain	475	511	493	380
N_t p. 100	1,34	1,36	1,35	1,33
Protéines ($N_t \times 6,25$ p. 100)	8,37	8,5	8,43	8,31
Teneur en aminoacides				
Ac. Aspartique	6,6	6,6	6,6	6,8
Thréonine	3,7	3,9	3,8	4, 1
Sérine	4,6	4,6	4,6	4,9
Ac. glutamique	16,5	16,9	16,7	16,3
Proline	9,0	8,6	8,8	8,8
Glycocolle	4,4	3,9	4,1	4,8
Alanine	8,0	8,8	8,4	7,5
Cystine	—	—	—	—
Valine	4,4	3,6	4,0	4,7
Méthionine	1,3	1,4	1,35	1,4
Isoleucine	3,4	3,6	3,5	3,9
Leucine	12,8	13,0	12,9	12,0
Tyrosine	4,9	4,5	4,7	5,3
Phénylalanine	5,5	5,5	5,5	6,3
Lysine	3,0	3,2	3,1	2,8
Histidine	3,5	3,7	3,6	3,6
Arginine	4,6	4,7	4,65	4,8
NH_4^+	2,4	2,2	2,3	2,3
Lysine (méthode chimique)	—	—	—	—

Ces échantillons nous sont parvenus dans un même emballage en matière plastique, sous deux formes :

— en grains détachés ou grains en vrac comprenant des caryopses blancs et des caryopses bleu-violet ;

– en grains sur épi (caryopses blancs).

Mais, dans un cas comme dans l'autre, ces Maïs étaient en mauvais état de conservation, leur altération par les insectes déprédateurs étant très avancée.

Du point de vue de l'aspect extérieur, comparés à ceux que nous avons déjà étudiés, ces caryopses sont des grains volumineux, extraordinairement plats, très denses, leur poids sec variant de 380 à 511 mg par unité.

L'aspect apparent des caryopses appartenant au premier cas (grains en vrac) nous a donné l'idée de savoir à quel type de Maïs nous avons affaire. Le décomptage des grains bleu-violet par rapport aux grains non colorés a révélé un taux de présence égal à 20 %. C'est un pourcentage très voisin de 25 %, chiffre caractérisant un stade d'hybridation. Ainsi avons-nous pensé que nous nous trouvions en présence d'échantillons issus d'un croisement.

Les résultats analytiques sont mentionnés dans le tableau X. Ils donnent lieu à quelque commentaire.

1° *Taux d'azote total.*

— Grains en vrac :

• 1,34 p. 100 (caryopses blancs),

• 1,36 p. 100 (caryopses bleu-violet).

— Grains sur épi : 1,33 p. 100.

2° *Teneur en lysine*

— Grains en vrac :

• 3,0 p. 100 (caryopses blancs),

• 3,2 p. 100 (caryopses bleu-violet).

Soit un taux moyen de 3,1 p. 100 en lysine.

— Grains sur épi : 2,8 p. 100.

3° *Autres aminoacides.*

Rien de particulier à signaler sinon que les « grains sur épi » ont donné des concentrations en tyrosine et en phénylalanine de 5,3 et de 6,3 p. 100, tandis que, pour ces mêmes acides aminés, les « grains en vrac » ont révélé des taux de 4,9 et de 5,5 p. 100 dans un 1er cas (caryopses blancs), de 4,5 et 5,5 p. 100 dans le 2e cas (caryopses bleu-violet), soit, pour l'ensemble de l'échantillon en vrac, des teneurs moyennes de :

— 4,7 p, 100 en tyrosine,

— 5,5 p. 100 en phénylalanine.

Signalons enfin que ces deux types de Maïs d'Afrique du Sud se sont montrés moins riches que les variétés dahoméennes par exemple et le sont encore moins par rapport aux variétés marocaines.

TABLEAU XI.

MAIS DE LA PLAINE DE SABLE DES LANDES (Saint-Martin-de-Hinx [France]).

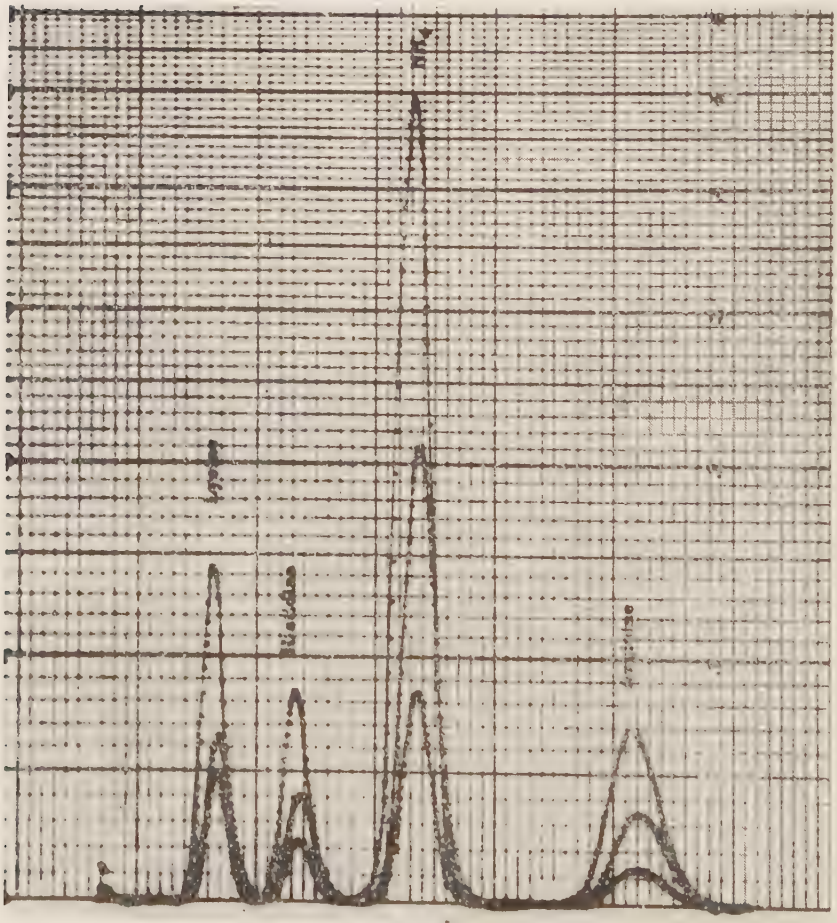
% D'AMINOACIDES DES PROTEINES PAR RAPPORT A N = 16 P. 100

Variétés	Précoce 71 (orla 280)	I V Tardif 61 (P 371)	Précoce 72 (RCH 83)
Couleur	j.	j.	j.
Taille	m.	g.	p.
Humidité en grammes p. 100	—	—	—
Poids sec moyen en mg d'un grain	235	315	189
N_t p. 100	1,8	1,5	1,54
Protéines	11,25	9,37	9,62
Teneur en aminoacides			
Ac. Aspartique	5,7	6,9	6,6
Thréonine	3,1	3,2	3,7
Sérine	4,2	4,4	3,2
Ac. glutamique	18,6	18,9	18,8
Proline	8,9	8,3	8,4
Glycocolle	3,6	3,5	3,7
Alanine	6,6	8,0	7,6
Cystine	—	—	—
Valine	4,8	4,7	4,8
Méthionine	1,6	1,6	1,4
Isoleucine	2,9	3,2	3,3
Leucine	14,7	14,7	14,8
Tyrosine	3,5	4,1	3,6
Phénylalanine	3,9	4,3	4,0
Lysine	2,3	2,3	2,8
Histidine	2,3	2,6	2,6
Arginine	4,2	4,8	4,7
NH_4	2,5	2,6	2,6
Lysine (méthode chimique)	2,15	2,2	2,7

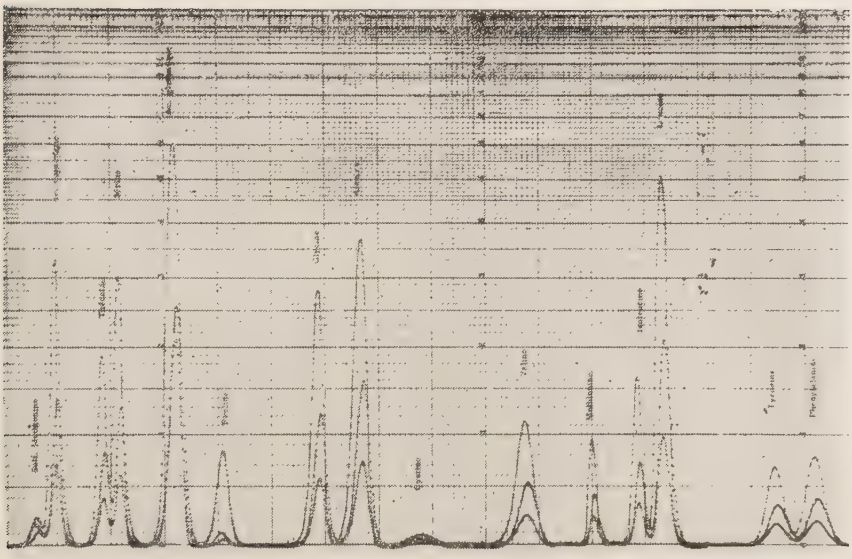
Les échantillons landais que nous avons eu l'occasion d'analyser proviennent de Maïs communs d'intérêt secondaire, de faibles concentrations en lysine.

Interprétations.

A. — TYPE DE CHROMATOGRAMMES D'HYDROLYSATS DE MAIS AFRICAINS (Maïs Zangara, Mali)



Acides aminés basiques.



Acides aminés acides et neutres.

Nous présentons ici un type de chromatogrammes de Maïs africains. Il ressemble à tous les points de vue au chromatogramme du Maïs en général. Donc, rien de bien particulier,

1° quant à l'ordre de sortie des pics correspondant aux acides aminés,

2° quant au nombre de ceux-ci, 17 en l'occurrence, le pic d'ammoniac, et le tryptophane indosable, mis à part.

Les chromatogrammes des Maïs africains analysés n'ont pas révélé l'existence d'un nouvel aminoacide, leur originalité réside seulement dans le fait que, dans l'ensemble, ils sont bien pourvus en acides aminés indispensables.

B. — COMPARAISON DES RESULTATS

Nos discussions portent en premier lieu sur le degré d'exactitude des résultats trouvés au cours du dosage chimique de la lysine par rapport aux résultats obtenus pour ce même aminoacide en appliquant le procédé chromatographique de Moore & Stein [136] légèrement modifié.

Nous avons observé, dans de nombreux cas, que les résultats apportés par chacune de ces deux techniques tombent en coïncidence à peu de chose près. En voici quelques exemples :

Maïs - Variétés	Lysine	
	Méthode chim.	*Procédé chromat.*
Zangara	2,98 p. 100	3.0 p. 100
Kolondiéba	3,0 p. 100	3,1 p. 100
Dioubani	2,98 p. 100	3,0 p. 100
Wassa Diéni	2,05 p. 100	2,1 p. 100
Bakoroni	2,4 p. 100	2,5 p. 100
Diémani Télémani	2,5 p. 100	2,6 p. 100
Golodie	2,8 p. 100	2,9 p. 100
Guéguéréni	2,5 p. 100	2,6 p. 100
Tiémantié de Zamblara	2,4 p. 100	2,5 p. 100
Ono	2,0 p. 100	2,1 p .100
Ouahahigouya blanc	2,1 p. 100	2,2 p. 100
Agbo (tout venant)	2,7 p .100	2,8 p. 100
Tout venant	2,85 p. 100	2,8 p. 100
Jaune d'Ina	3,37 p. 100	3,5 p. 100
Niaouli	3,1 p. 100	3,0 p. 100
Béida El Manzel	2,1 p. 100	2,2 p. 100
Béida Tétouan	2,98 p. 100	3,0 p. 100
Béida Rahba Gadima	2,4 p. 100	2,5 p. 100
Séfra Al Houcéima	2,15 p. 100	2,1 p. 100
Séfra Rhamna	2,8 p. 100	2,8 p. 100
Hamra Inezgane	2,3 p. 100	2,2 p. 100
V_{1-8}	3,5 p. 100	3,6 p. 100
V_{2-3}	3,6 p .100	3,7 p. 100
V_{2-4}	3,78 p. 100	3,9 p. 100
V_{2-10}	3,8 p .100	3,8 p. 100
V_{3-3}	3,46 p. 100	3,5 p. 100
V_{3-9}	4,08 p. 100	4,1 p. 100
V_{4-3}	4,27 p. 100	4,4 p. 100
V_{5-2}	4,3 p. 100	4,4 p. 100
V_{5-6}	3,0 p. 100	3,1 p. 100
V_{5-8}	3,0 p. 100	2,9 p. 100
V_{6-10}	3,3 p. 100	3,4 p. 100
V_{8-7}	3,2 p. 100	3,1 p. 100
V_{9-2}	2,75 p. 100	2,7 p. 100
V_{9-6}	3,0 p. 100	3,0 p. 100
V_{10-2}	2,4 p. 100	2,5 p. 100
V_{10-4}	2,2 p. 100	2,1 p. 100
V_{10-5}	3,0 p. 100	3,0 p. 100

Malgré les multiples exemples de coïncidence que nous avons relevés, il existe cependant, dans beaucoup de cas, un écart de ± 5 à ± 10 % entre les deux ordres de résultats, comme on peut le constater sur l'ensemble des tableaux.

Pourtant, les deux techniques nous paraissent valables. Mais, si les résultats apportés par les autoanalyseurs semblent inspirer plus de validité, il est incontestable que la méthode chimique, habilement appliquée, est susceptible de rendre de très grands services dans les pays en voie de développement. Il nous paraît pouvoir être, dans les laboratoires africains de biochimie nutritionnelle, un excellent procédé de tri en attendant l'occasion d'utiliser sur place un jour la technique chromatographique autoanalytique.

C. — COMPARAISON ENTRE LES VARIETES DE MAIS

Il résulte de notre inventaire biochimique que les Maïs africains sont en général riches en acides aminés indispensables, mis à part le tryptophane que nous n'avons pu doser, cet acide aminé ne s'y trouvant qu'en faibles proportions. Les teneurs en lysine de 4 à 4,5 p. 100, que nous avons assez fréquemment rencontrées, contribuent à dégager les variétés maïsicoles de l'Afrique du préjugé défavorable où elles étaient confinées en les portant directement au niveau des plus riches Maïs américains.

D'autre part, leurs concentrations en méthionine et cystéine sont convenables, bien que ces acides aminés soient en partie détruits au cours des hydrolyses acides. Mais comme, dans la généralité des cas, les Maïs en sont faiblement pourvus, nous n'avons pas jugé indispensable

de reprendre leur dosage après une hydrolyse chlorhydroformique, d'autant plus que l'intérêt de notre travail porte surtout sur la connaissance des teneurs des Maïs africains en acides aminés essentiels du type lysine.

On constatera d'autre part que leucine et lysine varient en général en sens inverse. En effet, une lignée « SCAr III » à grains blancs de 193 mg et 11,4 p. 100 de protides a donné 3,9 p. 100 de lysine, 10,4 p. 100 de leucine. Une autre lignée « Jaune d'Ina » à grains de 209 mg, 9,5 p. 100 de protides, a montré 3,5 p. 100 de lysine, 10,5 p. 100 de leucine [40]. L'enrichissement en lysine est dû au remplacement partiel de la zéine, pratiquement sans lysine, à 19,8 p. 100 de leucine, par des albumines et globulines, à 6,5 p. 100 de lysine et 5 p. 100 de leucine [15] ; le taux de zéine, de 44 à 49 p. 100 dans les Maïs communément produits en France, est seulement de 18 p. 100 dans les Maïs américains riches en lysine [140].

Pour établir une comparaison générale entre les variétés maïsicoles étudiées, nous avons fait appel à deux ordres de facteurs. Ce sont en l'occurrence les facteurs individuels et écologiques.

1° Facteurs individuels.

Les différences observées d'une variété à l'autre découlent des différences entre les concentrations en acides aminés, ainsi qu'on peut le constater sur les tableaux de résultats. De plus, nous avons noté des écarts parfois appréciables, tant au niveau des azotes totaux qu'au niveau des acides aminés entre divers échantillons appartenant à une même lignée. Il en résulte qu'il peut ne pas exister d'homogénéité au sein d'une même variété. Ces différences sont très sensibles chez les Maïs que nous

avons étudiés, en particulier chez les variétés marocaines non hybrides. Ce qui confirme une fois encore l'hétérogénéité du matériel biologique. Il faut cependant noter que les Maïs hybrides du Maroc ont montré, à quelques exceptions près, une certaine homogénéité dans leurs compositions protéiques.

2° Facteurs écologiques.

Nous avons constaté également que les taux d'azote total, de même que les concentrations en acides aminés, varient avec la provenance (contrée géographique).

Ainsi donc, les sols moins humides du Maroc confèrent aux Maïs des taux d'azote nettement plus élevés que ceux des échantillons de l'Ouest Africain ou d'Afrique du Sud, et partant des concentrations en aminoacides plus importantes, y compris les taux d'ions NH_4^+. Ces proportions élevées d'ammoniac que nous avons trouvées dans tous les matériaux analysés issus de l'Afrique proviennent probablement en tout ou partie des sels ammoniacaux libres du sol, de l'asparagine et de la glutamine dont ces Maïs sont abondamment pourvus.

En résumé, nous avons trouvé dans les pays de l'Ouest Africain (Dahomey, Mali), et surtout au Maroc, des variétés maïsicoles riches en acides aminés indispensables, lysine, thréonine, valine, méthionine, isoleucine, leucine, phénylalanine, le tryptophane mis à part. Mais c'est à la lysine que nous attachons le plus d'importance pour apprécier la valeur nutritionnelle des échantillons étudiés, parce qu'on a toujours à tort soutenu la carence du Maïs africain en cet aminoacide.

En dehors des conséquences économiques sur lesquelles peut déboucher notre travail, il s'en dégage une autre idée,

de portée philosophique cette fois, c'est le fait que, dans les contrées où l'individu se nourrit d'un aliment donné, il semble normal que ce nutriment soit suffisamment riche en éléments vitaux pour assurer sa survie. Par conséquent, il est prévisible que le Maïs africain soit riche en lysine puisqu'il sert de base d'alimentation à l'homme et que le Maïs landais ne le soit que relativement puisqu'il est réservé à l'élevage des bestiaux auxquels on peut en donner de grandes quantités en vue de leur nutrition. Cette idée est concrétisée par des faits que nous venons de justifier par nos résultats. Les Maïs africains sont adéquatement pourvus en acides aminés indispensables.

CHAPITRE XV

EXPERIMENTATIONS SUR LA CONSERVATION DU MAIS EN PAYS TROPICAUX SOLUTIONS ET CONDITIONNEMENTS PROPOSES

Nous pensons que, parmi les solutions préconisées contre la faim, il y a lieu de prévoir les moyens d'obtenir une meilleure conservation des grains consommables en combattant non seulement la rouille du Maïs, mais aussi les insectes nuisibles qui abîment la moitié des récoltes en Afrique, comme le Sitophylus Orysa. Notre attention a été attirée sur cet aspect des problèmes de la lutte contre la sous-nutrition par le fait que la plupart des échantillons qui nous parvinrent du Dahomey et d'Afrique du Sud étaient déjà en état d'altération avancée. Nous avons eu la chance d'y trouver des larves encore vivantes dont nous nous sommes servi comme germes de contamination dans les expériences qui vont suivre.

A. — CONSERVATION DU MAIS PAR LE BROMURE D'ETHYLE

Le bromure de méthyle a été déjà utilisé en France. Ce composé chimique conviendrait mal aux pays chauds à cause de sa grande volatilité. C'est pourquoi le Professeur Louis Genevois nous a conseillé l'emploi du bromure d'éthyle.

Expérimentation.

I. — DETERMINATION DE LA DENSITE DU MAIS A T°

On sait que la densité d'un corps à t° est le rapport du poids P d'un certain volume de ce corps au poids P' d'un égal volume d'eau distillée prise à son maximum de densité, soit à 4° C.

$$Dt = \frac{P}{P'}$$ P et P' en grammes.

Méthode du flacon.

Ce faisant, nous avons appliqué la méthode du flacon.

Première étape :

1° Nous remplissons à ras bords un flacon de 250 d'une eau distillée bouillie et refroidie à la température ambiante, contenant 0,5 % d'un mouillant. L'introduction d'un détersif nous a paru nécessaire pour accroître le phénomène de mouillabilité dont le but est d'éviter que des bulles de gaz contenues dans l'eau ne s'interposent entre les caryopses.

2° Nous fermons le flacon ainsi rempli avec un bouchon de caoutchouc traversé par un petit tuyau de verre sur lequel nous avons pratiqué un repère que l'eau doit affleurer après l'obturation du récipient, sinon nous rétablissons l'affleurement, en cas d'excès, en retirant du liquide au moyen d'un tortillon de papier filtre.

3° Après essuyage du flacon, nous le portons sur le plateau d'une balance à côté d'une certaine quantité de grains dont nous voulons déterminer la densité. Cette

quantité doit être choisie de telle sorte qu'elle puisse être entièrement contenue dans le récipient. Nous rétablissons l'équilibre à l'aide d'une tare, puis nous remplaçons la masse de Maïs par des poids marqués. Nous avons ainsi déterminé le poids P des grains par double pesée, soit

$$P = 100{,}5 \text{ g.}$$

Deuxième étape :

1° Nous introduisons la masse de Maïs choisie dans le flacon rempli d'eau, très lentement afin d'éviter que des bulles de gaz restent adhérentes à la surface des caryopses. Une partie de l'eau s'écoule à l'extérieur.

2° Nous bouchons le flacon comme précédemment. Si le trait de repère est dépassé, nous rétablissons l'affleurement en épongeant l'excès d'eau.

3° Nous portons à nouveau le récipient sur le plateau de la balance, après l'avoir proprement essuyé. Nous rétablissons l'équilibre avec un poids P' représentant le poids de l'eau déplacée par les grains de Maïs introduits. Soit

$$P' = 80{,}2 \text{ g.}$$

La densité approximative cherchée est donnée par $\frac{P}{P'}$. Son expression exacte serait

$$D = \frac{P}{P'} \times Dt \qquad Dt = \frac{Do}{1 + Kt}$$

Il suffit donc de multiplier $\frac{P}{P'}$ par la densité de l'eau distillée à t° ou Dt, t étant la température de l'eau employée pour remplir le flacon. Nous nous rapportons à une table de densité de l'eau. Comme nous opérons à 22-23°, la densité D du Maïs est égale à

$$D = \frac{P}{P'} \qquad Dt = \frac{100,5}{80,2} \times 0,9977 = 1,25,$$

ce qui permet de connaître le volume correspondant à la masse de Maïs introduite dans le récipient de conditionnement, soit

$$v = \frac{100,5}{1,25} = 85 \text{ ml.}$$

Le volume non occupé V' cherché est égal à

$V - v = V'$ $\qquad$ V = vol. du flacon, soit 250 ml.

250 ml — 85 ml = *165* ml.

II. — DETERMINATION DE LA QUANTITE THEORIQUE DE BROMURE D'ETHYLE NECESSAIRE A LA CONSERVATION DU MAIS

Nous savons qu'une mole de bromure d'éthyle occupe, à 15° C, sous une pression de 760 millimètres de mercure, un volume de 22,4 l. Si nous n'en utilisions que 0,01 mole de ce composé chimique, le volume occupé serait de 0,224 l dans les mêmes conditions de température et de pression. Or, 1 ml de bromure d'éthyle a une pression de vapeur de 317 mm.

Calculons la pression de vapeur de C_2H_5Br correspondant à 0,224 l, à 23° et sous une pression de mercure de 760 millimètres, sachant que le volume non occupé à l'intérieur du flacon de conditionnement est égal à 165 ml :

$$760 \times \frac{0,224}{0,165} = \frac{23 + 273}{273} = 112 \text{ mm.}$$

Cette pression obtenue est inférieure à 317 mm ; théoriquement, l'opération de conservation pourra s'effectuer dans de bonnes conditions. Déterminons le plus

exactement possible la quantité Q en volume de bromure d'éthyle correspondant à 112 mm, sachant que la densité spécifique du composé est de 1,47 et sa masse moléculaire de 68 g. Mais nous n'en avons théoriquement utilisé que 0,01 mole, soit 0,68 g :

$$Q = \frac{0{,}68}{1{,}47} = 0{,}46 \text{ ml.}$$

Protocole d'expérimentation.

En pratique, ayant jugé excessif 0,46 ml de bromure d'éthyle pour la conservation de 100 g de grains de Maïs, c'est avec 1/6 seulement de cette dose, soit 0,07 ml, que nous sommes parti pour constituer une gamme jugée nécessaire à notre expérimentation.

Gamme : dans cinq flacons blancs de 250, garnis chacun d'un tube manométrique en U (de notre fabrication) renfermant une égale quantité de mercure, puis dans un sixième récipient servant de flacon-témoin — le tout numéroté de 1 à 6 — nous introduisons des doses croissantes de bromure d'éthyle, après y avoir placé une masse déterminée de Maïs sain en présence d'une faible quantité de Maïs avarié employé comme germe de contamination, dans la proportion de 2 % en poids. Ces doses croissantes de produit de conservation sont établies en volume suivant une progression arithmétique de raison 0,5. Il est évident que le flacon 6 contient tous les ingrédients, sauf du bromure d'éthyle ; par conséquent, il n'est pas muni d'un tube manométrique.

N^{os} DES FLACONS	1	2	3	4	5	6
Maïs contaminé.	2 g	2 g	2 g	2 g	2 g	2 g
Maïs sain	100 g	100 g	100 g	100 g	100 g	100 g
C_2H_5Br ..	0,07 ml	0,12 ml	0,17 ml	0,22 ml	0,25 ml	—

TABLEAU I. — *Gamme d'expérimentation.*

D'après le présent tableau, il est clair que le germe de contamination est placé au fond des flacons, le Maïs non contaminé par dessus, mais il nous paraît utile d'indiquer de quelle manière nous avons introduit les diverses doses de bromure d'éthyle constituant la gamme. L'introduction est effectuée au moyen d'une pipette de précision de 1 ml, graduée au 100^e, que nous faisons descendre jusqu'à mi-course dans la masse des grains, le long de la paroi des récipients, de façon que les graduations soient visibles. Nous laissons alors tomber la dose convenable de liquide jusqu'à écoulement total. En effet, pour des techniques d'expérimentation comme celle-ci, nécessitant de petites quantités de liquide, mieux vaut adopter des mesures volumétriques qui rendent les manipulations plus pratiques.

Aussitôt après l'introduction du produit de conservation, nous obturons avec un bouchon de caoutchouc muni d'un tube manométrique les cinq flacons-essai, puis le flacon-témoin à l'aide d'un bouchon de caoutchouc non perforé. Nous lutons ensuite les six flacons avec de la paraffine fondue.

Constatations.

L'expérimentation a été mise en train le 21 juin 1968. Au cours des jours suivants, nous avons observé :

21-6-68 Mise en train	N^{os} des flacons	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm
Elévation manométrique 2 à 3 heures après le début de l'expérience ..... ↗		—	4	7	8	8	—
Stabilisation des hauteurs manométriques, 3 jours après —							
Chutes manométriques ..... ↘							
24-6-68		1	2	3,5	6	6	—
5-7-68		1,5	3	4	7	8	—
11-7-68		1,5	3	5	8	9	—
21-8-68		1,5	3,5	7	10	10	Contamination
20-9-68		1,5	3,5	7	10	10	

TABLEAU II

Contenu des 5 flacons-essai: non attaqué.

Témoin: attaqué.

SIGNIFICATION DES CHUTES MANOMÉTRIQUES.

Les élévations de la colonne de mercure n'ont pas d'intérêt dans le cas présent, il ne faut donc y attribuer aucune importance, d'autant plus que nous avons attendu que tous les ménisques mercuriels reviennent à leur point de départ avant de commencer à apprécier les différentes chutes manométriques que nous avons constatées.

Laissant de côté le flacon n° 1, jugé comme un cas limite, c'est à l'interprétation de ce qui s'est passé dans les flacons 2, 3, 4, 5 et 6 que nous allons nous attacher. En effet, dans les récipients 2, 3, 4 et 5, les chutes manométriques présentent un palier au bout de 60 jours environ, exactement à partir du 21 août, date à laquelle apparaît un début d'attaque des grains de Maïs sains par

le germe de contamination, ainsi que l'a montré le flacon-témoin n° 6. L'examen de ce même flacon, une trentaine de jours après cette première période de deux mois, a permis de constater que la contamination était totale. En effet, son contenu était entièrement attaqué, tandis qu'à cette même date du 20 septembre, il ne s'était produit la moindre atteinte dans aucun des flacons-essai — du n° 1 au n° 5 — ce qui permet de considérer notre expérimentation comme satisfaisante.

Quelle est donc la dose minimale de bromure d'éthyle a retenir ?

Nous rapportant aux observations précédentes, il eût été logique *a priori* de choisir le premier chiffre de notre gamme, soit 0,07 ml de bromure d'éthyle, qui correspond à une chute manométrique de 1,5 mm de mercure, comme dose minimale de produit susceptible d'assurer la conservation de 100 grammes de Maïs sain dans les conditions de l'expérience. Mais nous avons estimé plus pratique de proposer la dose immédiatement supérieure, soit 0,12 ml, car cette dose donne lieu à une chute de la colonne de mercure plus conséquente : 3,5 mm, la dose de 0,07 ml ne pouvant être considérée que comme un cas limite.

Cette chute manométrique de 3,5 mm, ainsi que les autres venant après dans notre gamme, correspond en réalité à des quantités fixes de produit de conservation. Or, les quantités fixes en question n'ont pu se produire qu'au bout de deux mois (voir tableau d'expérimentation 2) et après qu'une partie des proportions de bromure d'éthyle utilisées se soit dissoute probablement dans l'endosperme des caryopses, ou dans l'albumen.

En définitive, nous avons donc retenu la dose de 0,12 ml de bromure d'éthyle qui donne lieu, dans les conditions de notre expérimentation, à une quantité minimale

fixe de produit de conservation capable de protéger les grains contre toute contamination ou de stopper éventuellement toute éclosion d'œufs de parasites au cas où les caryopses auraient été déjà infectés avant les opérations de stockage.

Conséquences pratiques de notre expérimentation.

Nous n'avons pu entreprendre notre expérimentation sur une très grande échelle, à l'échelle industrielle. Mais, partant de la dose de bromure d'éthyle que nous proposons comme dose minimale de produit de conservation pour 100 g de Maïs, il serait possible d'en déduire la quantité convenable pour assurer la protection de 50 ou 100 kilos de grains placés dans des barils d'aluminium correspondants.

Calculons, à titre d'exemple, la quantité en poids de bromure d'éthyle que nécessiterait la conservation d'un quintal ou d'une tonne de grains de Maïs, la densité de C_2H_5Br étant de 1,47.

$$\frac{1{,}47 \times 0{,}12 \times 100\,000}{100} = 176{,}4 \text{ g},$$

soit, en pratique, 175 g pour 100 kilos ou 1,750 kg pour 1 000 kilos de grains.

Cette dépense supplémentaire permettant une meilleure conservation du Maïs est loin d'être excessive, à notre avis, même pour un pays en voie de développement, comparée aux avantages qui en résultent sur le plan nutritionnel et économique.

III. — AUTRE CONDITION POUR UNE BONNE CONSERVATION DES GRAINS

A part l'emploi de produits de conservation, comme le bromure d'éthyle que nous proposons, nous recommandons également — eu égard aux récents travaux américains [12] — de maintenir dans les caryopses de Maïs ou de Sorgho un taux d'humidité de 12 %. Il semble que ce soit là une condition nécessaire pour obtenir un meilleur stockage des grains. Mais si ces graines doivent être par la suite utilisées pour la reproduction (semailles), leur teneur en eau ne doit jamais être inférieure à 12 %, sinon le pouvoir germinatif risque de subir une altération considérable.

B. — CONDITIONNEMENTS PROPOSES

Ne pouvons-nous pas, à l'instar des Etats-Unis qui utilisent les rayons γ pour la conservation du poisson, conseiller l'emploi d'un tel procédé en Afrique en matière de stockage des céréales ?

Mais dans l'état actuel des choses, cette méthode serait onéreuse pour les pays en voie de développement. Par conséquent, l'utilisation du bromure d'éthyle que nous proposons doit pouvoir y trouver sa pleine application, d'autant plus que, à cause de sa volatilité, la moindre cuisson l'éliminerait des grains et que les mets qui en résulteraient seraient absolument inoffensifs pour l'homme.

Cependant, pour que l'opération de conservation proposée aboutisse à des résultats positifs, il nous paraît nécessaire de modifier ou de changer l'emballage actuellement employé parce que :

1° il ne met pas suffisamment les grains à l'abri des rongeurs et des insectes, et

2° il ne semble pas pouvoir résister aux manœuvres de transbordement auxquelles il doit souvent faire face au cours des transports.

a) Modification.

Conditionnement en sacs à feuilles multiples.

Ce mode d'emballage ne peut malgré tout constituer qu'une solution d'attente, les avantages qu'il apporte étant limités au seul fait qu'il est susceptible, en dehors de tout accident mécanique, de mettre les grains à l'abri des pénétrations d'insectes, voire de microbes, à cause des feuilles de polyéthylène et de cellophane dont il est tapissé intérieurement. Mais les risques d'avarie dus aux moyens de transports et aux attaques des rongeurs restent inchangés.

Lorsqu'on a affaire à des graines oléagineuses, la cellophane trouve tout son intérêt dans ce système de conditionnement amélioré parce qu'elle ne se laisse pas traverser par les huiles essentielles. Or, le polyéthylène, lui, peut résister quelque peu aux attaques des insectes. Ainsi donc, les propriétés mécaniques du polyéthylène, associées aux propriétés chimiques de la cellophane, fixent du même coup la position réciproque de ces deux matières à l'intérieur du mode d'emballage. La feuille de cellophane devra être accolée aux parois des sacs, celle du polyéthylène directement placée au contact des grains, de telle sorte que, si les essences parvenaient à traverser le polyéthylène, la cellophane pourrait empêcher toute perte et qu'en cas d'attaque par les insectes et les rongeurs, si la première feuille est vite altérée, le polyéthylène, lui, assurera quelque temps encore la protection des graines.

Il ne faut pas omettre de procéder à l'antiseptie de la réserve. Elle peut être réalisée par introduction, à

l'aide d'une sonde, dans la masse, juste avant l'obturation des sacs, d'une dose convenable de bromure d'éthyle.

b) Changement.

Conditionnement en barils d'aluminium.

L'idéal serait, pour les pays tropicaux, de pouvoir conditionner leur stock de grains commercialisables en barils d'aluminium de 50 ou 100 kilos. L'aluminium étant un métal à la fois résistant et léger, ce mode d'emballage, que nous recommandons vivement, serait pratique et même sûr.

Mais que l'on emploie, comme matériaux de conditionnement, les sacs de jute à feuilles multiples ou les barils d'aluminium, la réserve de grains ainsi stockée ne serait pas pour autant mise à l'abri des contaminations de toutes sortes (bactéries, éclosions d'œufs de Sitophylus Orysa), si on manquait d'y introduire la proportion qu'il faut de bromure d'éthyle avant la suture des sacs ou la fixation des couvercles.

Il s'agit, bien entendu, de mettre au point un système de sondes capables de prélever et d'injecter automatiquement la dose prévue de liquide de conservation, cette injection devant être faite dans la masse des caryopses une fois que les emballages sont remplis. C'est l'affaire des ingénieurs. D'autre part, afin de réduire le prix de revient, il faudrait pouvoir fabriquer sur place ces nouveaux modes de conditionnement, sinon s'adresser à des puissances plus techniquement outillées pour en assurer la livraison à des pays africains qui en feraient la commande.

CONCLUSION

Au terme d'une étude de près de 80 échantillons de Maïs de diverses provenances, notre travail permet de montrer qu'il existe couramment en Afrique des variétés contenant 3 p. 100 et plus de lysine, voire même des variétés titrant 4 à 4,5 p. 100 de cet acide aminé ; ce qui nous paraît très important du point de vue de la valeur nutritionnelle. Un grand nombre de Maïs africains peuvent donc être valablement comparés aux plus riches variétés américaines récemment mises au point par des procédés de mutation génétique. C'est une preuve que les maïsiculteurs ouest-africains et marocains ne se sont pas trompés dans le choix des races qu'ils cultivent depuis des générations.

Mais il serait souhaitable cependant de mettre à l'essai, dans les régions où sévit la sous-nutrition, les gènes américains Opaque-2 et Farineux-2, pour améliorer le Maïs en vue d'une augmentation éventuelle de sa teneur en lysine. Pourtant, comme l'a souligné une récente publication des Nations-Unies, « il est peu probable que les nouvelles souches trouvent une large utilisation dans les pays en voie de développement tant qu'on n'aura pas prouvé clairement que les mutants en question augmentent la quantité ou la qualité des céréales utilisées aux fins traditionnelles » [142].

Avec la lignée « SCAr III », le Dahomey a pris une nette avance sur d'autres pays de l'Afrique Noire dans le domaine de la sélection végétale grâce à l'utilisation d'un

gène martiniquais auquel nous avons attribué un rôle inducteur dans la biogénèse de la lysine. Mais il reste à connaître la nature génétique et biochimique de ce mutant. Cela ne peut être que l'objet d'un travail collégial que nous nous proposons d'entreprendre sur place dans notre pays, avec les généticiens et autres spécialistes, si les moyens nécessaires sont mis à notre disposition.

Du point de vue strictement analytique, le procédé chimique que nous avons réussi à adapter au dosage de la lysine dans les céréales paraît incomplet pour la connaissance de la composition protéique d'un nutriment, en ce sens qu'il n'apporte que la concentration d'un seul aminoacide. Mais, en l'état actuel des choses, nous pensons qu'il constitue, pour les laboratoires africains, une méthode de tri pratique, permettant de sérier les Maïs en trois grandes catégories, à savoir :

1° les variétés riches en lysine, par conséquent de grande valeur nutritionnelle, aptes à l'alimentation de l'homme ;

2° les variétés moins riches, susceptibles d'être réservées au fourrage des animaux domestiques ;

3° les variétés pauvres en aminoacides mais d'importance industrielle considérable, du fait qu'elles peuvent servir de matières premières pour la fabrication de l'amidon, des sucres, alcools, acétone, spiritueux, etc.

Mais, pour la réussite d'un tel inventaire biochimique qui ne manque pas d'intérêt, il est évident que les auto-analyseurs sont d'un précieux concours, à en juger par les résultats absolument positifs qu'on peut en tirer.

En ce qui nous concerne, nous sommes très satisfait d'avoir pu mettre à profit ces appareils à la fois indispensables et délicats dont nous recommandons l'emploi dans les laboratoires africains, dès que les moyens financiers disponibles pourront permettre leur acquisition.

Nous remercions une fois encore tous ceux qui nous ont permis de nous servir de ces moyens modernes d'analyse en nous facilitant ainsi la mise sur pied de notre travail dont l'humble prétention est d'apporter à la science une contribution en vue d'une meilleure connaissance des Maïs africains.

Nous espérons aussi, en terminant, que le procédé au bromure d'éthyle proposé ici pour le stockage des grains et les modes de conditionnement que nous recommandons trouveront un réel écho dans les pays en voie de développement. En effet, nous attachons une très grande importance à la bonne conservation du Maïs autant qu'à sa composition protéique, car ce sont deux choses qui, à notre avis, s'inscrivent naturellement parmi les solutions devant être préconisées pour la lutte contre la Faim dans le Monde.

BIBLIOGRAPHIE

1. Adande (A.). — Le Maïs et ses usages dans le Bas-Dahomey. *Bull. de l'I.F.A.N.*, 1953, vol. XV, n° 1, 220.
2. Adam (J.). — Techniques agricoles des pays chauds. *(Librairie Autonome)*, Paris, 1957.
3. Adrian (J.). — Etude de la valeur protidique de trois légumineuses domestiques africaines. *Ann. Nutr.*, 1964, **18**, 1.
4. Adrian (J.) & Sayerse (C.). — Les plantes alimentaires de l'Ouest Africain. *Dir. Gén. Santé Publique*, 1954.
5. Agarwal (R. R.). — Soil fertility in India. (Asia Publishing House), London, 1965.
6. Akundova (N. I.). — La croissance et le développement du Maïs en fonction de la grosseur des graines. *Kukuruza*, 1966, n° 12, 21.
7. Albanese (A.). — Protein and aminoacid nutrition (Acad. Press), New York, 1959.
8. Alexander (D. E.). — Problems associated with breeding Opaque-2 corns and some proposed solutions. « Proc. high lysine corn conf. » *Lafayette* (Indiana), 1966, 143.
9. Alfa-Laval International 1965. — Cheese-Making in Dahomey, 25.
10. Arakeri (H. R.), Kumar (L. S. S.) & Coll. — Agriculture in India. Vol. I : General ; vol. II : Crops. (Asia Publishing House), London, 1962.
11. Arakeri (H. R.), Chalam (G. V.) & Coll. — Soil Management in India. (Asia Publishing House), London, 1962.
12. Asgrow Seed Company International, Orange Connecticut (U.S.A.). — How temperature and humidity affect storage life of seeds, 1968, vol. XXII, n° 1, 6.

13. Atkins (J.). — A voyage to Guinea, Brasil and West Indies. London, 1737.
14. Autret (M.) & Behar (M.). — Le syndrome de polycarence de l'enfance en Amérique Centrale (Kwashiorkor). *F.A.O.*, 1955.
15. Baudet (J.), Mosse (J.), Landry (J.) & Moureaux (Th.). *Ann. Physiol. Vég.*, 1966, **8**, 321.
16. Baraud (J.). — Dosage iodométrique de l'azote aminé libre des protéines par l'intermédiaire des dérivés dithiocarbamiques. (technique de Turba et Kofranyi modifiée). *Bull. Soc. Chim. France*, 1957, 951.
17. Baraud (J.). — Dosage iodométrique de l'azote aminé libre des protéines par l'intermédiaire des dérivés dithiocarbamiques. *Bull. Soc. Chim. France*, 1957, 948-953.
18. Bassir (O.). — Biochemical Aspects of human malnutrition in the Tropics. *Monograph. Biol.*, 1962.
19. Bates (L. S.). — Amino acids analysis. « Proc. high lysine corn conf. » *Lafayette* (Indiana), 1966, 61.
20. Beal (W. J.). — Indian corn. *Mich State Bd. Agr. Ann. Rept*, 1880, **19**, 279.
21. Bianchi (A.). — Quantitative relationship between genetic effects and X ray doses in maize T à P. « Symposia genetica et biologica italica », 1966, vol. XIII, 491.
22. Birke (J.). — The influence of sprinkling amelioration of sandy soil, different doses of nitrogen applications, and a clover-grass proceeding crop on the length growth of maize for ensilage (Al-an). *Allbrecht Taher. Arch.*, 1967, t. II, 1, 33.
23. Biserte (G.) & Coll. — *J. chromatogr.*, 1959, **2**, 225.
24. Blaringhem (L.). — Thèse Fac. Sc., Paris, 1907.
25. Bloom (L.), Hendricks (P.) & Caris (J.). — Determination of available lysine in foods analytical. *Biochemistry*, 1967, **21**, 382.
26. Block (R. J.) & Bolling (D.). — The amino acid composition of proteins and foods (C. C. Thomas, édit.), U.S.A., 1951.

27. Boucher (P.). — Prévention de la malnutrition protéique au Sénégal (Libr. Arnette), 1962.
28. Bredt (H.). — Résultats expérimentaux concernant la relation entre le type des hybrides de Maïs et leur phytotechnique différenciée. *Probl. agric.*, 1967, t. XIX, 4, 26.
29. Bressani (R.). — Protein quality of Opaque-2 maize in children. J.N., 1967.
30. Bressani (R.) & Condet (R.). — Changes in the chemical composition and in the distrib. of nitrogen of maize at different stages of development. *Cereal Chemistry*, 1962, **38**, 76.
31. Bressani (R.), Elias (L. G.), Scrimshaw (N. S.) & Guzman (M. A.). — *Cereal Chemistry*, 1962, **39**, 59.
32. Breton (J.). — Etudes chimiques et biochimiques sur la ninhydrine (Impr. Drouillard), Bordeaux, 1958.
33. Brock (J.-F.) & Autret (M.). — Le Kwashiorkor en Afrique. O.M.S. : monographies, n° 8, Genève. Division de nutr. F.A.O., n° 8, Rome. 1952.
34. Brown (W. L.). — Races of maize. National Academy of Sciences. *Nat. Res. Counc. Public.*, 1960, 792.
35. Bryssine. — Service d'Agriculture Maroc.
36. Busson (F.). — Plantes alimentaires de l'Ouest Africain (Impr. Leconte), Marseille, 1965, 74-79.
37. Busson (F.). — Plantes alimentaires de l'Ouest Africain (Impr. Leconte), Marseille, 1965, 491.
38. Busson (F.), Fauconneau (G.), Pion (N.) & Montreuil (J.). — Acides aminés. *Ann. de la Nutr. et de l'Alim.*, 1966, vol. XX, n° 2, 199.
39. Busson (F.), Lanza (M.) & Regli (P.). — 1962, vol. XXII, n° 4, 471.
40. Busson (F.), Gibirila (B.) & Genevois (L.). — Sur la variabilité des protides des Maïs africains ; existence de variétés riches en lysine. *C.R. Acad. Sc.*, 1968, **267**, D, 2211.
41. Camain-Giabicani (R.). — Recherche sur l'action des azides des acides pyridine-monocarboxylique sur les protides. Thèse Fac. Sc., Bordeaux, 1965, 59.

42. Carpenter (K. J.) & Ellinger (G.). — The estimation of available lysine in protein concentrates. *Biochem. J.*, 1955, 61-XI Proc.

43. Castro (J. de). — Le Livre Noir de la Faim (Les Edit. Ouvrières), Paris, 1961.

44. Centre d'Education Nutritionnelle (Ligue Française de l'Enseignement, et de l'Education Permanente). Campagne contre la Faim, 1967.

45. Champagnat (A.). — Des protéines à partir du pétrole. *Alfa-Laval International*, 1967-1968, numéro spécial contre la faim, Suède.

46. Chalam (G. V.) & Venkateswarlu (J.). — Introduction to Agricultural Botany in India, 1965, vol. I, 298-353.

47. Chetchetinina (L. L.) & Boutenko (V. A.). — Dosage colorimétrique d'azote total dans le sol et dans les végétaux. *Potchvovedenie*, 1957, **8**, 98.

48. Chevalier (A.). — La culture du Maïs en Afrique Occidentale et spécialement au Dahomey. *J. Agr. Trop.*, 1910.

49. Collet (G.). — Dosage de l'azote et validité des résultats. *Bull. Soc. Bot. Suisse*, 1963, **73**, 332.

50. Concon (J. M.). — The protein of Opaque-2 maize: raw fibre ratio in lucern and soybean. *Acta agron., Budapest*, 1967, t. XVI, 1/2, 157.

51. Conférence interafricaine sur l'Alimentation et la Nutrition. — Dschang (Cameroun), 1949. Documentation française.

52. Conférence O.A.U./55 R.L. (I^re^) sur le Sorgho, le Millet et le Maïs, Zaria (Nigéria), 1965. *Sols afric.*, t. II, 1/2, 477.

53. Congrès international (I^er^) des Industries agricoles et alimentaires des zones tropicales et sub-tropicales. Abidjan, 1964.

54. Congrès international de Nutrition (VII^e^). Hambourg, 1966.

55. Cornevin (R.). — Le Dahomey (P.U.F.), Paris, 1965.

56. Craig (L.) & Coll. — *Analyt. Chem.*, 1950, **22**, 1462.

57. Creac'h (P.). — Aliments et Alimentation des Indigènes du Moyen-Tchad (Impr. Leconte), Marseille, 1941.

58. Dahomey, Ministère de l'Agriculture. — Rapport annuel, 1957-1958.

59. Dalby (A.). — Proteins synthesis in maize endosperme. « Proc. high lysine corn conf. » *Lafayette* (Indiana), 1966, 80.

60. Dangoumau (A.). — De l'examen des farines animales (dosage de la lysine). Laboratoire municipal, Bordeaux, extrait de « *Les Industries de l'Alimentation animale* », 1959, **102**, 19-38.

61. Davidescu (D.), Borlan (Z.) & Bordeiasu (C.). — *Agrochimica*, 1966, vol. XI, n° 1, 53.

62. Davidescu (D.), Borlan (Z.) & Bordeiasu (C.). — *Agrochimica*, 1967, vol. XI, n° 2, 194.

63. Davidescu (D.), Caramete (C.), Haceadur (L.), Bartok (R.), Vines (I.) & Popescu (S.). — Colocviul Interuniversitar Romano-Italiano Pe Teme de Agricultura, Bucarest, 1966, 45.

64. Dean (R. F. A.). — *East African*, 1960, **37**, 378.

65. Defremery (C.) & Sanguinetti (B. R.). — Voyages d'Ibn Batoutah, t. IV, 1858-1877, 392-394.

66. Dhawan (N. L.), etc. — Role of cytoplasm in the manifestation of heterosis and other quantitative traits in maize. *Indian J. Genet. plant Breedg*, 1965, t. XXVI A, Sp. Nb 60.

67. Documentation Française (La). — Notes et études documentaires (1966) ; La République du Dahomey (1964), n° 3307, Secrét. Gén. du Gouvern., Paris.

68. Dumont (R.). — La Chine surpeuplée (Edit. du Seuil), Paris, 1965.

69. Dumont (R.) & Rosier (B.). — Nous allons à la famine (Edit. du Seuil), Paris, 1966, 79.

70. Duncan (W. G.), etc. — Tassels and the productivity of maize. *Crop Sci.*, 1967, t. VII, 1, 37.

71. Dupin (H.). — Thèse Fac. Sc., Paris, 1958.

72. Emerson (R. A.), Beadle (G. W.) & Frazer (A. C.). — *Cornell Univ. Agr. Expt. Sta. Mem.*, n° 180, 1935.

73. F.A.O.-O.M.S. — Besoins en protéines. Rapport d'un groupe mixte d'experts. Rome, 1965, n° 37.

74. F.A.O. — Maize and Maize diets. A nutritional survey. Rome, 1954.

75. F.A.O. — Amino acids content of foods. Planning Branch Nutrition Division, Rome, 1968, n° 9, 2.

76. Fernandes (V.). — Description de la côte occidentale d'Afrique (1506).. Trad. Th. Monod & coll. (Bissau, Impr. off.), 1951.

77. Ficsor (C.). — Chemical mutagenesis in Zea mays. *Diss. Abstr.*, 1966, t. XXVII, 6, 17286.

78. Fioramonti (S.), Marty (J.-R.), Courau (M.) & Puech (J.). — Conduite et résultats de cultures expérimentales de Maïs irrigué dans trois sols différents. *C.R. Acad. Agric. fr.*, 1967, t. XLIII, 1, 53.

79. Fofana (B.). — Aliments riches en protéines à partir de quelques légumineuses tropicales. Thèse Fac. Sc., Bordeaux, 1964.

80. Gell (A. A. P.). — Le poisson, source de protéines. *Alfa-Laval*, 1967-1968, 40-43.

81. Genevois (L.). *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 1940, **25**, 315.

82. Genevois (L.). — L'amélioration biochimique des plantes cultivées. *Rev. gén. Sc.*, 1955, t. LXII, nos 11-12.

83. Genevois (L.). — *Ann. Nutr.*, 1960, **14**, 261.

84. Genevois (L.). — Problème de sélection qualitative des végétaux alimentaires. Atti congresso annuale Soc. Italiana Genetica Agraria 1960 in Padova, in *Genetica Agraria*, 1961, vol. XIV, fasc. 1-2.

85. Genevois (L.). — Traité de chimie biologique, 1957, t. I, 3.

86. Genevois (L.). — Le Maïs et la pellagre. *J. d'Agr. Trop. et de Bot. appl.*, 1961, **8**, 221.

87. Genevois (L.) & Fofana (B.). — Contribution à la recherche d'aliments riches en protéines à partir de quelques légumineuses tropicales. 1964, n° 130, 70.

88. Gillespie (G. T.), Flynn (L. M.), O'Dell (B. L.) & Hogan (A.). — Nicotinic acid, Lysine, Tryptophan and threonine as supplements to High-Protein Corn. *Res. Bull.*, 1958, 679.

89. Golse (J.). — Thèse Fac. Sc., Bordeaux, 1933.
90. Goodwin (A. J. H.). — South Afric. *J. of Science*, 1953, bull. 8, n° 29.
91. Grebenscikov (I.), Gatersleben. — Ziemsen Verlag. *Wittenberg Lutherstadt*, 1959, 44.
92. Gros (A.). — La fumure du Maïs grain. *Bull. Engrais*, 1967, n° 497, 63.
93. Gunnar Blix (M. D.). — Mild Moderate Forms of Protein-calorie Malnutrition. Symposia of the Swedish Nutrition Foundation, 1962.
94. Hadley (N. S.). — Possible economic impacts of high-lysine Corn on American agriculture. « Proc. High-lysine Corn Conf. » *Lafayette* (Indiana), 1966, 161.
95. Hayes (H. K.), Rinke (E. H.) & Tsiang (Y. S.). The development of a synthetic variety of corn from inbred lines. *J. Am. Soc. Agron.*, 1944, **36**, 998.
96. Helen Clark (E. Ph. D.). — Meeting Protein Requirements of Man. *J. of the Amer. Dietet. Assoc.*, 1968, vol. LII, 475.
97. Hopkins (C. G.). — Methods of Corn Breeding. III. Agr. Exp. Sta. Bul. 82, 1902.
98. Hull (F. H.). — Recurrent selection for specific combining ability in Corn. *J. Am. Agron.*, 1945, **37**, 134.
99. Ibn Batoutah. — Voyages dans le Soudan (1354). Trad. de Slane (Impr. roy.), Paris, 1843.
100. Jacques-Félix (H.). — Les Graminées d'Afrique Tropicale. I.R.A.T., Paris, 1962.
101. Jeffreys (M. D. W.). — How ancient is west african maize? *Reprinted from Africa* (University Press), Oxford, 1963, vol. XXXIII, n° 2, 115.
102. Jeffreys (M. D. W.). — Who introduced maize into Southern Africa? *South African Journal of Science*, 1967, vol. LXIII, P.O. Box 6894, Johannesburg, 23.
103. Jenkins (M. T.). — The segregation of genes affecting yield of grain in maize. *J. Am. Soc. Agron.*, 1940, **32**, 55.
104. Jimenez (J. R.). — Protein fractionation studies of High-Lysine Corn. « Proc. High-Lysine Corn Conf. » *Lafayette* (Indiana), 1966, 74.

105. Jiracek (V.), etc. — On the determination of amino acids in biological material by means of paper chromatography (Tch. an). *Rostl. Vyr.*, 1967, t. XIII (40), 2, 165.

106. Jones (D. F.). — The productiveness of single and double first-generation Corn hybrids. *J. Am. Soc. Agron.*, 1922, **14**, 241.

107. Jugenheimer (R. W.). — La sélection des Maïs hybrides et la production des semences. Collection F.A.O., 1959, cahier n° 62, 106.

108. Jugenheimer (R. W.). — Collection F.A.O., 1959, cahier n° 62, 106.

109. Jugenheimer (R. W.). — Collection F.A.O., 1959, cahier n° 62, 34.

110. Kappert (H.) & Rudorf (W.). — Handbuch Der Pflanzenzüchtung. Verlag Paul Parey, 1959, Band II, 103.

111. Khalil (A. R.) & Fawzy (A. L.). — A biometrical genetic study of four open-pollinated varieties of Corn and their crosses. *Agric. Res. Rev.* (Cairo), 1966, t. XLIV, 1, 39-56.

112. Kibrik (A. C.). — The colorimetric determination of lysine. *Arch. Biochem.*, 1949, **20**, 22.

113. Ki-Zerbo (J.). — Le Monde Africain Noir (Hatier), Paris, 1963.

114. Kodicek (E.) & Coll. — The availability to pigs of nicotinic acid in tortilla baked from maize treated with lime-water. *British J. of Nutr.*, 1959, vol. XIII, n° 3, 363.

115. Kossel (A.) & Kutscher (F.). — Beiträge Zur Kemitniss der Eiweisskörper. *Ztschr. physiol. Chem.*, 1900, **31**, 166.

116. Landry (J.). — *C.R. Acad. Sc.*, 1965, **261**, G 13, 2775.

117. Landry (J.) & Sallantin (M.). — *C.R. Acad. Sc.*, 1966, **262**, C, 156.

118. Le Conte (J.). — Les travaux dans le domaine de l'amélioration du Maïs. *Agron. Tropic.* (I.R.A.T.), 1965, n° 10, 981.

119. Lysikov (V. N.). — Some problems of the experimental mutagenesis in Corn (R-an). *Seiskokl. Biol.,* 1966, t. I, 6.783.

120. Mac Gregor (J. M.), Taskovitch (L. T.) & Martin (W.-P.). — *Agron. J.,* 1961, 53, 4, 211.

121. Maillard (L.). — *C.R. Acad. Sc.,* Paris, 1912, **154**, 66.

122. Mangelsdorf (P. C.). — A discovery of remains of primitive maize in New Mexico. *J. Hered.*, 1949, **40**, 39.

123. Mangelsdorf (P. C.) & Reeves (R. G.). — Hybridization of maize, Tripsacum and Euchlaena. *J. Hered,* 1931, **22**, 328.

124. Manolin (M.). — La réalisation de l'effet hétérosis maximum représente le principal objectif dans la production de graine hybride de Maïs (Ro). *Probl. agric.*, 1967, t. XIX, 4, 63.

125. Mauny (R.). — Notes historiques autour des principales plantes cultivées d'Afrique Occidentale. *Bull. Inst. franç. d'Afr. Noire,* 1953, **15**, 684.

126. Maurizio (A.). — Histoire de l'Alimentation végétale depuis la préhistoire à nos jours (Payot), Paris, 1932, 339.

127. May & J. M. (M. D.). — Studies in Medical Geography, vol. V (Hafner Publishing Company), New York, London, 1965.

128. Mertz (T. E.), Bates (L. S.) & Nelson (O. E.). — *Science* (U.S.A.), 1964, **145**, 279.

129. Mertz (T. E.), Veron (O. A.), Bates (L. S.) & Nelson (O. E.). — Growth of rats fed on Opaque-2 Maize. *Science* (U.S.A.), 1965, **148**, 174.

130. Mertz (T. E.) & Nelson (O. E.). — Ed. Proceeding of the High-Lysine Corn conf. June 21.22. *Purdue University Lafayette* (Indiana), Washington, 1966.

131. Mertz (T. E.). — Growth of rats on Opaque-2 Maize-Proceedings of the High Lysine Corn Conference, Purdue University, 1966, 12.

132. Messian (C.-M.). — Physiologie du développement chez Zea Mays. Thèse Fac. Sc., Marseille, 1963.

133. Méthode acidimétrique officielle, 8th Edition 1955 p. M. Association of official Agricultural Chemist.

134. Miracle (M. P.). — Maize in tropical Africa (The university of Wisconsin Press Madison), London, 1966.

135. Monod (Th.), Teixera Da Mota & Mauny (R.). — Description de la Côte occidentale d'Afrique (Sénégal au Cap de Monte, Archipels), par Valentim Fernandes (1506-1510), 1951.

136. Moore (S.) & Stein (W.). — *J. Biol. Chem.*, 1951, **192**, 663.

137. Mosse (J.). — Monographie sur une protéine du Maïs : la zéine. *Ann. Physiol. Vég.*, 1961, **3**, 105.

138. Mosse (J.), Baudet (J.), Landry (J.) & Moureaux (Th.). — *C.R. Acad. Sc., Paris*, 1966, **263**, D, 788.

139. Mosse (J.), Moureaux (Th.) & Baudet (J.). — *C.R. Acad. Sc., Paris*, 1966, **262**, D, 1710.

140. Mosse (J.), Baudet (J.), Landry (J.) & Moureaux (Th.). — *Ann. Physiol. Vég.*, 1966, **8**, 331.

141. Mungo Park. — Travels in interior of Africa. London, Bryan, 1799.

142. Nations Unies, New York, 1968. — Action internationale pour écarter la menace d'une crise de protéines, 73.

143. N'Doye (T.). — Les caractères de l'alimentation africaine. *In* quatrième cours de formation de nutritionnistes de langue française en Afrique, Dakar, F.A.O., 1962.

144. Nielson (J. J.) & Weidner (K.). — A column chromatographic method for the determination of available lysine. *Acta Agric. Scand.*, 1966, t. XVI, 14, 144.

145. Nelson (J. A.), Mc Farlan (W. D.) & Boulet (M.). — A rapid colorimetric method for determination of lysine in protein hydrolysates. *Federation Proc.*, 1946, **5**, 148.

146. Nishi (H.). — A simplified apparatus for column chromatography used for amino acids on sulfonated polystyrene resins (J. an). *Bull. Coll. Agric. Utsunomiya Univ.*, 1964, t. LIII, 69.

147. Osborne (Th. B.). — *J. Am. Soc.*, 1897, **19**, 525.

148. Osborne (Th. B.). — The vegetable proteins. Monog. on Biochemistry (Longmans, Green and C°), London, 1909.

149. Osborne (Th. B.) & Mendel (L. B.). — The comparative nutritive value of certain proteins in growth and the problem of the protein minimum. *J. of Biol. Chem.*, 1915, **20**, 351.

150. Osborne (Th. B.) & Mendel (L. B.). — The relative value of certain proteins and proteins concentrates as supplements to Corn gluten. *J. of Biol. Chem.*, 1917, **29**, 69.

151. Pales (L.). — L'alimentation en A.O.F. Mission anthropologique de l'Afrique Occidentale Française, O.R.A.N.A., Dakar, 1954.

152. Pélissier (P.). — Les Pays du Bas-Ouémé, une région témoin du Dahomey méridional. Travaux du département de géographie, 1963, n° 10.

153. Périssé (J.). — Une enquête alimentaire sur les populations agricoles du Sud-Togo B : résultats du pays Ouatchi (Sud-Togo). France, Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-mer, Institut de Recherche Togo, Lomé, N.D.

154. Pinnell (E. L.), Rinke (E. H.) & Hayes (H. K.). — Gamete Selection for specific combining ability heterosis, Iowa State College Press, 1952, Chapter 24 pp., 378.

155. Portères (R.). — L'introduction du Maïs en Afrique. *J. Agr. Trop. et Bot. App.*, 1955, **2**, 221.

156. Portères (R.). — Les appellations des céréales en Afrique (Muséum National d'Histoire Naturelle), Paris, 1960, 165-166.

157. Portères (R.). — Les appellations des céréales en Afrique (Muséum National d'Histoire Naturelle), Paris, 1960, 169.

158. Prugar (J.), etc. — Méthodes accélérées de détermination de la teneur en matières azotées dans le matériel végétal, XVIII. Processus du combustion au cours du dosage de l'azote suivant Kjeïdall dans les céréales, XIX. Possibilité d'une utilisation plus large de pro-meter en Tchécoslovaquie, XX. *Rostl. Vyr.*, 1967, t. XIII (40), 2, 187.

159. Randoin (L.) & Simonnet (H.). — Les données et les inconnues du problème alimentaire (P.U.F.), Paris, 1927, t. II.

160. Rhoades (M. M.). — Meiosis in maize. *J. Hered.*, 1950, **14**, 58.

161. Roose (E.) & Cheroux (M.). — Les sols du bassin sédimentaire de Côte-d'Ivoire. *Cah. O.R.S.T.O.M., Pédol.*, 1966, t. IV, 2, 51.

162. Routchenko (W.). — Diagnostic Biodynamique de la nutrition minérale du Maïs. Thèse Conservatoire National des Arts et Métiers, 1965.

163. Routchenko (W.). — Thèse Conservatoire National des Arts et Métiers, 1965, 37.

164. Ruhemann (S.). — Cyclic di-and tri-ketones. *J. Chem. Soc.*, 1910, **97**, 1438.

165. Schnell (R.). — Plantes alimentaires et vie agricole de l'Afrique Noire (Larose), Paris, 1957, 51, 155.

166. Schonberg (A.), Moubasher (R.) & Mostafa (A.). — Degradation of α-amino acids to aldehydes and ketones by interaction with carbonyl compounds. *J. Chem. Soc.*, 1948, 176.

167. Schram (E.), Dustris (J.-P.), Moore (S.) & Bigwood (E. J.). — Application de la chromatographie sur échangeurs d'ions à l'étude de la composition des aliments en acides aminés. *Anal. Chim. Acta*, 1953, **9**, 149.

168. Selim (A. S. M.). — Microdetermination of lysine in Protein Hydrolyzates. *J. Agr. Food Chem.*, 1965, vol. XIII, n° 5, 435.

169. Shull (G. H.). — Hybridization methods in Corn breeding. *Am. Breed. Assoc. Rpt*, 1910, **5**, 51.

170. Shuphan (W.). & Weinman (I.). — *Ann. de la Nutr. et et de l'Alim.*, 1960, t. XIV.

171. Spackman (D.) & Coll. — Automatic recording apparatus for use in the chromatography of amino acids. *Analyt. Chem.*, 1958, **30**, 1190.

172. Sprague (G. F.). — Agricultural Production in the developing countries. Maize improvement in Kenia. *Science*, 1967, vol. CLVII, n° 3790, 777.

173. Sprague (G. F.) & Tavcar (A.). — Mais (Zea mays). Handbuch Der Pflanzen Züchtung. Verlag. (Paul Parey), 1956, 103.

174. Stadler (L. J.). — Gamete selection in Corn breeding. Maize Genet. *Co-op. News Let.*, 1945, **19**, 33.

175. Staitu (I. R.) & Bratu (V.). — *Anale*, 1961, vol. XXIX, 153.

176. Strecker (A.). — Notiz über eine eigenthümliche oxydation durch. Alloxan. *Ann. Chem.*, 1862, **123** 363.

177. Subrahmanyan (V.), Srinivasan (M.) & Kuppuswamy (S.). — Proteins in Foods (Indian Council of Medical Res.) New Delhi, 1958.

178. Sylla (O.). — Dosage des bases hexoniques (arginine, lysine, histidine). Thèse Fac. Sc., Bordeaux, 1959.

179. Terroine (E. F.). — Le métabolisme de l'azote (P.U.F.), Paris.

180. Turba (F.) & Kofranyi (E.). — Verfahren Zur Isolierung und quantitativen Bestimmung des Lysins in Protein hydrolysate Die Naturwissenschaften, 1947, **34**, 57.

181. Van Marees (P.). — Description et récit historial du riche royaume d'or de Guinea, 50 (Claesson), Amsterdam), 1605.

182. Van Slyke (D. D.), Dillon (R. T.), Mc Fadyen (D. A.) & Hamilton (P.). — Determination of free amino acids by titration of the carbon dioxide formed in the reaction with ninhydrin. *J. Biol. Chem.*, 1941, **141**, 681.

183. Weatherwax (P.). — The history of Corn. *Sci. Mo.*, 1950, **71**, 50.

184. Wellhausen (E. J.), Roberts (L. M.) & Hernandez (E.), in collaboration with Mangelsdorf (P. C.). — Races of Maize in Mexico, their origin, characteristics and distribution (Harvard Univer. Bussey Inst.), 1952.

185. Wellhausen (E. J.). — Origin and breeding of maize. *Indian J. Genet. Plant Breeding*, 1965, t. XXVI A, np. Sp, 45 G.

186. Wellhausen (E. J.). — The incorporation of Opaque-2 into tropical varieties of maize. « Proc. high lysine Corn conf. » *Lafayette* (Indiana), 1966, 148 G.

187. Williams (C. D.). — Le Kwashiorkor en Afrique. *J. Méd. Porto*, 1952, **20**, n° 505, 536.

188. Yuen (S. H.) & Polard. — The determination of nitrogen in Agricultural materials by the Nessler Reagent. *J. Sci. Food Apic.*, 1952, 3 (10), 441.

TABLE DES MATIÈRES

PAGES

AVANT-PROPOS 9

INTRODUCTION 11

PREMIÈRE PARTIE.

GENERALITES SUR LE MAIS

CHAPITRE 1.

Caractères ethnobotaniques - Races - Hybrides 17

I. — Caractères ethnobotaniques 17

II. — Races 18

III. — La variété « Opaque 2 » et les Maïs hybrides 22

CHAPITRE 2.

Introduction du Maïs en Afrique 27

CHAPITRE 3.

Ecologie 33

DEUXIÈME PARTIE.

IMPORTANCE DU MAIS

CHAPITRE 4.

Importance du Maïs en Afrique 35

PAGES

Chapitre 5.

Importance du Maïs au Dahomey 37
I. — Milieu 37
II. — Conservation - Modes de stockage 39
III. — Utilisation locale 40
IV. — Malnutrition - Kwashiorkor 43

Troisième partie.

SOLUTIONS AUX PROBLEMES DE LA FAIM
TRAVAUX ANTERIEURS SUR LE MAIS

Chapitre 6.

Solutions aux problèmes de la faim 51

Chapitre 7.

Travaux antérieurs sur le Maïs 57

Quatrième partie.

TRAVAUX PERSONNELS

Chapitre 8.

Opérations préliminaires 75
I. — Comptage des grains 77
II. — Taux d'humidité 77
III. — Pulvérisation 78

OPERATIONS FONDAMENTALES

Chapitre 9.

Dosage de l'azote total par colorimétrie ou Nesslérisation 81

PAGES

I. — Minéralisation 81
II. — Nesslérisation 82
1° Principe du dosage 82
2° Préparation des réactifs 83
3° Dosage colorimétrique ou Nesslérisation 84

CHAPITRE 10.

Préparation des hydrolysats en vue du dosage des acides aminés 87
Technique de préparation des hydrolysats 89

CHAPITRE 11.

Considérations théoriques sur le comportement des aminoacides en solution hydrochlorhydrique ... 91

CHAPITRE 12.

Dosage de la lysine par une méthode chimique 95
I. — Historique 95
II. — Technique de la méthode chimique proposée 97

CHAPITRE 13.

Fractionnement chromatographique des protéines en aminoacides dans les hydrolysats de Maïs 103
I. — Préparation des réactifs 105
A) Tampons éluants 105
B) Réactifs à la ninhydrine 107

PAGES

II. — Protocole analytique 113
Technique 114
III. — Calculs 117
Mensuration des chromatogrammes 119

Chapitre 14.

Résultats et Interprétations 121

RESULTATS

Maïs du Mali (Tableaux I et I bis, commentaire). 123
Maïs de la Côte-d'Ivoire et de la Haute-Volta, (Tableau II, commentaire) 126
Maïs du Dahomey (Tableaux III et III bis, commentaire) 128
Maïs du Maroc (Tableaux IV, V et V bis, VI, commentaire) 132
Maïs du Maroc, suite : variétés hybrides (Tableaux VII, VIII, IX, commentaire) 137
Maïs d'Afrique du Sud (Tableau X, commentaire) 142
Maïs de la Plaine de Sable des Landes (Tableau XI, commentaire) 145

INTERPRETATIONS

A) Type de chromatogrammes d'hydrolysats de Maïs africains (Maïs Zangara, Mali) 146
B) Comparaison des résultats 148
C) Comparaison entre les variétés de Maïs 150

PAGES

CHAPITRE 15.

Expérimentation sur la conservation du Maïs en pays tropicaux - Solutions et conditionnements proposés 155

A) Conservation du Maïs par le bromure d'éthyle. 155

I. Détermination de la densité du Maïs à t° 156

II. Détermination de la quantité théorique de bromure d'éthyle nécessaire à la conservation du Maïs 158

Protocole d'expérimentation 159

Constatations 160

Dose minimale de bromure d'éthyle .. 162

Conséquences pratiques 163

III. Autre condition pour une bonne conservation des grains 164

B) Conditionnements proposés 164

a) Modification 165

b) Changement 166

CONCLUSION 167

BIBLIOGRAPHIE 171

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITION DONNÉE PAR LA FACULTÉ

Vu et permis d'imprimer :
Bordeaux, le 16 janvier 1969.

Le Recteur de l'Académie de Bordeaux,
Signé : J. BABIN.

Vu et approuvé :
Bordeaux, le 13 janvier 1969.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,
Signé : CALAS.